

工學碩士 學位論文

潮汐의 影響이 있는 沿岸海域에서의
海岸過程의 變化

The Change of Beach Processes
at the Coastal Zone with the Impact of Tide

指導教授 李 重 雨

2002年 8月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科

金 相 昊

The Change of Beach Processes at the Coastal Zone with the Impact of Tide

Sang-Ho Kim

*Department of Civil and Environmental Engineering
Graduate School*

Abstract

Today, coastal development to maximize the utilization of ocean space, both economically and environmentally, brought interests to many peoples. However, neglecting the negative effect of development and difficulties on forecasting for the change of environments have made the situation worse than the time untouched. Especially, the development nearshore zone causes change of coastline or topography. Sometimes we face to more serious sedimentation and erosion problems oriented either by nature or artificial action and thereafter we find damages to the ecosystem. Therefore, it is necessary to cope with the changes in order to raise up the usage reasonably.

Change of beach and topography appears differently according to the regional environmental condition, but the most important factor we might point would be wave and littoral drift. Furthermore, in an area of a wide tide tidal range, displacement of breaking zone appears and we need to trace variation of the surf zone. In the past, the predictions of beach processes and harbor sedimentation were mainly relied on the hydraulic model tests and empirical methods. In recent years, however, as computers

have come into wide use, more accurate models have gradually been developed and thus replaced those conventional methods. For prediction of topography change near the coastal area, we need information of wave and current conditions in the numerical model which should be calculated in advance.

Numerical model introduced in this study combines wave refraction-diffraction, breaking, bottom friction, lateral mixing, and critical shear stress and three sub-models for simulating waves, currents, and bottom change were briefly discussed. Simulations of beach processes and harbor sedimentation were also described at the coast neighboring Bangpo Harbor, Anmyundo, Chungnam, where the area has suffered from accumulation of drifting sand in a small fishing harbor with a wide tidal range. We also made model test for the case of a narrow tidal range at Nakdong river's estuary area to understand the effect of water level variation on the littoral drift. Simulations are conducted in terms of incident wave direction and tidal level. Characteristics of wave transformation, nearshore current, sediment transport, and bottom change are shown and analyzed. We found from the simulation that the tidal level impact to the sediment transport is very important and we should apply the numerical model with different water level to analyze sediment transport mechanism correctly.

Although the model study gave reasonable description of beach processes and harbor sedimentation mechanism, it is necessary to collect lots of field observation data, including waves, tides and bottom materials, etc. for better prediction.

KEY WORDS: beach processes; harbor sedimentation; breaking; bottom friction; critical shear stress; field observation; topographical change

목 차

ABSTRACT	i
LIST OF TABLES	v
LIST OF FIGURES	v
NORMENCLATURE	viii
제1장 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구 목적 및 방법	3
제2장 파랑 및 해빈류 이론	6
2.1 파랑장 이론	8
2.1.1 지배방정식	8
2.1.2 쇄파 조건	10
2.2 해빈류장 이론	12
2.2.1 지배방정식	12
2.2.2 주요 외력의 평가식	14
1) 저면마찰항	14
2) 수평운동량 확산항	15
3) 잉여응력	17
제3장 표사와 해저지형 변화 이론	18
3.1 지배방정식	18
3.2 표사량의 평가식	21
3.2.1 흐름에 의한 표사량	21
3.2.2 파랑에 의한 표사량	22
3.3 저면 이동한계마찰속도의 산정	25
3.4 저면 마찰속도의 산정	26

3.5 경계층 외연 유속진폭의 산정	27
제4장 수치모델의 구성	28
4.1 지배방정식의 차별화	28
4.1.1 파랑장	28
4.1.2 해빈류장	30
4.1.3 표사 및 해저지형 변화	32
4.2 수치모델의 수립	33
4.2.1 조위의 변화가 심한 경우	34
1) 현황	34
2) 모델구성	36
4.2.2 조위의 변화가 미약한 경우	38
1) 현황	38
2) 모델구성	41
제5장 수치실험 및 분석	43
5.1 조위의 변화가 심한 경우	43
5.1.1 파랑장	43
5.1.2 해빈류장	46
5.1.3 표사와 해저지형 변화	49
5.2 조위의 변화가 미약할 경우	60
5.2.1 파랑장	60
5.2.2 해빈류장	63
5.2.3 표사와 해저지형 변화	66
5.3 조위에 따른 지형변화이동	77
제6장 결론 및 제언	79

LIST OF TABLES

Table. 4.1 Characteristics of Bangpo harbor	36
Table. 4.2 Incident wave characteristics at Bangpo harbor	37
Table. 4.3 Characteristics of Nakdong river's estuary	41
Table. 4.4 Incident wave characteristicsat Nakdong river's estuary	41

LIST OF FIGURES

Fig. 2.1 Definition of the coordinate system for wave	8
Fig. 2.2 Definition of the coordinate system for longshore current	13
Fig. 3.1 Coordinate system for calculation of the littoral drift	20
Fig. 4.1 Calculation grid in a wave model	28
Fig. 4.2 Calculation grid in a longshore current model	30
Fig. 4.3 Photo for the coast of Bangpo harbor and its neighbor	35
Fig. 4.4 Gotji beach and Bangpo harbor plan	36
Fig. 4.5 Depth of Bangpo harbor and adjacent coastal area	37
Fig. 4.6 History of Delta formation at the estuary of Nakdong river	39
Fig. 4.7 Satellite data for the estuary of Nakdong river	40
Fig. 4.8 Depth for the estuary of Nakdong River	42
Fig. 5.1 Wave angle and height at M.H.W.L.(SSW)	44
Fig. 5.2 Wave angle and height at M.L.W.L.(SSW)	44
Fig. 5.3 Wave angle and height at M.H.W.L.(WNW)	45
Fig. 5.4 Wave angle and height at M.L.W.L.(WNW)	45
Fig. 5.5 Nearshore current at M.H.W.L.(SSW)	47
Fig. 5.6 Nearshore current at M.L.W.L.(SSW)	47
Fig. 5.7 Nearshore current at M.H.W.L.(WNW)	48
Fig. 5.8 Nearshore current at M.L.W.L.(WNW)	48
Fig. 5.9 Bottom changes at M.H.W.L.(SSW)	50
Fig. 5.10 Bottom changes at M.L.W.L.(SSW)	50
Fig. 5.11 Bottom changes at M.H.W.L.(WNW)	51
Fig. 5.12 Bottom changes at M.L.W.L.(WNW)	51

Fig. 5.13 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth (SSW, M.H.W.L.)	52
Fig. 5.14 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth (SSW, M.L.W.L.)	52
Fig. 5.15 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth (WNW, M.H.W.L.)	53
Fig. 5.16 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth (WNW, M.L.W.L.)	53
Fig. 5.17 Comparison of bottom change between SSW and WNW (2m, M.H.W.L.)	54
Fig. 5.18 Comparison of bottom change between SSW and WNW (5m, M.H.W.L.)	54
Fig. 5.19 Comparison of bottom change between SSW and WNW (2m, M.L.W.L.)	55
Fig. 5.20 Comparison of bottom change between SSW and WNW (5m, M.L.W.L.)	55
Fig. 5.21 Cross sections for the analysis of bottom change	56
Fig. 5.22 Bottom changes at AA' cross section(SSW)	57
Fig. 5.23 Bottom changes at BB' cross section(SSW)	57
Fig. 5.24 Bottom changes at CC' cross section(SSW)	58
Fig. 5.25 Bottom changes at AA' cross section(WNW)	58
Fig. 5.26 Bottom changes at BB' cross section(WNW)	59
Fig. 5.27 Bottom changes at CC' cross section(WNW)	59
Fig. 5.28 Wave angle and height at M.H.W.L.(S10W)	61
Fig. 5.29 Wave angle and height at M.L.W.L.(S10W)	61
Fig. 5.30 Wave angle and height at M.H.W.L.(SE)	62
Fig. 5.31 Wave angle and height at M.L.W.L.(SE)	62
Fig. 5.32 Nearshore current at M.H.W.L.(S10W)	64
Fig. 5.33 Nearshore current at M.L.W.L.(S10W)	64
Fig. 5.34 Nearshore current at M.H.W.L.(SE)	65
Fig. 5.35 Nearshore current at M.L.W.L.(SE)	65
Fig. 5.36 Bottom changes at M.H.W.L.(S10W)	67

Fig. 5.37 Bottom changes at M.L.W.L.(S10W)	67
Fig. 5.38 Bottom changes at M.H.W.L.(SE)	68
Fig. 5.39 Bottom changes at M.L.W.L.(SE)	68
Fig. 5.40 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth (S10W, M.H.W.L.)	69
Fig. 5.41 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth (S10W, M.L.W.L.)	69
Fig. 5.42 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth (SE, M.H.W.L.)	70
Fig. 5.43 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth (SE, M.L.W.L.)	70
Fig. 5.44 Comparison of bottom change between S10W and SE (2m, M.H.W.L.)	71
Fig. 5.45 Comparison of bottom change between S10W and SE (5m, M.H.W.L.)	71
Fig. 5.46 Comparison of bottom change between S10W and SE (2m, M.L.W.L.)	72
Fig. 5.47 Comparison of bottom change between S10W and SE (5m, M.L.W.L.)	72
Fig. 5.48 Cross sections for the analysis of bottom change	73
Fig. 5.49 Bottom changes at AA' cross section(S10W)	74
Fig. 5.50 Bottom changes at BB' cross section(S10W)	74
Fig. 5.51 Bottom changes at CC' cross section(S10W)	75
Fig. 5.52 Bottom changes at AA' cross section(SE)	75
Fig. 5.53 Bottom changes at BB' cross section(SE)	76
Fig. 5.54 Bottom changes at CC' cross section(SE)	76
Fig. 5.55 Trend of topography change at Bangpo harbor	77
Fig. 5.56 Trend of topography change at the estuary of Nakdong river	78

NOMENCLATURE

A_c	Non-dimensional coefficient due to current respectively
C	Wave celerity
C_f	Energy decrease factor
C_g	Group velocity
d	Grain diameter
f	Wave frequency
F_d	Transport direction function
F_x, F_y	Bottom friction terms
g	Gravitational acceleration
h	Mean water depth at (x,y)
H, L, T	Wave height, length, period, respectively
i, j	Directional components at (x,y)
k	Wave number
\vec{k}	Wave number vector of incident wave
l	Distance from the coastline
L_0	Deep water wave length
M_x, M_y	Horizontal mixing terms
q'_x, q'_y	Local change of virtual transport rates in horizontal direction
q_w	The maximum transport quantity due to wave
Q	External energy flux
	Source and sink of wave energy

	Sediment quantity
R_x, R_y	Radiation stress terms
s	Degree of the directional concentration of wave energy
S_{ij}	Radiation stresses
t	Time
$\tan \beta$	Mean bottom inclination
u_{ub}	Near-bottom wave orbital velocity
u_*	Friction velocity for a wave-current coexistent system
u_{*c}	Friction velocity for limit transport grain
\hat{u}	Amplitude of wave motion difference wave velocity in x direction
\hat{u}_b	Amplitude of near-bottom wave orbital velocity
$\overline{u_c}$	Profile mean velocity
U, V	Depth averaged velocities in horizontal direction
\vec{U}	Velocity vector of the mean current
\hat{v}	Amplitude of wave motion difference wave velocity in y direction
w_o	settlement velocity
x, y	Coordinate distances in horizontal direction
x_b	Offshore distance measured from the breaking point
X_b	Width of the surf zone
z	Coordinate distance in vertical direction
z_b	Height from the baseline to the bottom
∇	Horizontal gradient operator
ε	Eddy viscosity coefficient

η	Surface elevation
Π	Local sediment transport direction
Π_c	Critical value of Π
ρ	Seawater density
κ_c	Non-dimensional constant
τ_*	Maximum value of the bottom shear stress in the wave-current coexistent field
τ_{*c}	Critical shear stress for the onset of sediment movement coexistent field
θ	Angle of inclination Wave direction
$\theta_{\max}, \theta_{\min}$	Max. & min. angle of inclination
Ψ_m	Shields number
Ψ_c	Limit shields number
ϕ	Velocity potential
ω	Wave angular frequency

제1장 서론

1.1 연구배경

과거, 해안의 활용도를 높이기 위하여 많은 개발이 진행되어 왔고, 해안선의 변화나 생태계의 변화 등의 환경적인 문제를 야기시킨 경우도 많았다. 이에 따라서 해양에 대한 관심이 높아졌으며, 주위환경의 변화를 예측하고자 하는 시도도 다양하게 이루어지고 있다. 해안의 활용도를 높이기 위해서는 좀 더 정확한 해안과정의 변화를 예측하여 차후에 있을 변화에 적극적으로 대처해야 할 필요가 있다.

우리나라에서도 근래에 들어와서 해안 연안역은 교통과 생활의 요충지로서의 활용이 급증하고 있으며, 항만 건설이나 연안역의 구조물 축조, 매립 및 간척 등에 의해 해변의 침식과 매물, 퇴적현상 등이 나타나고 있다. 이와 함께 반폐쇄수역에서 해수순환의 저하로 심각한 해양 오염문제가 거론되기도 하며, 연안의 사빈의 손실과 더불어 친수공간으로서의 기능저하와 환경오염 문제를 유발하기도 한다.

사빈해역에 있어서 쇄파대에서는 표사의 활동이 활발하므로, 건설된 구조물 주변에서 세굴이 생기거나 혹은 항 입구로부터의 모래 침입에 의한 항내 매물과 항로 폐색을 야기시킬 수 있고 특히 항로 매물과 항로 폐색은 준설 등과 같은 대책을 강구하지 않으면 항자체의 기능이 상실되게 된다. 또한, 구조물 건설전후에 있어서 표사의 이동방향과 이동량이 서로 다를 경우에는 연안표사의 연속성이 유지되지 못하여 인접하는 해역에까지 영향이 미치게 된다. 따라서, 사빈해역에서의 항 특히 어항의 정비에 있어서는 현지 관측에 의해 현황을 파악함과 동시에 수치 시뮬레이션 등으로 장래의 표사이동예측을 행하고

난 후 비로소 정비계획을 입안할 필요가 있다(신 등, 2001).

하구역은 육지의 환경과 해양환경이 접하게 되므로 육지의 특성과 해양의 특성으로부터 동시에 영향을 받아 보다 복잡한 환경을 갖게 된다. 육지로부터 하천수에 의해 이동되어진 유입물이 하구역에서 퇴적하고, 해양의 파랑, 조석 및 기타 흐름에 의해서 퇴적물은 다시 순환하거나 일정한 장소로 이동하게 된다. 그러므로 하구역에 있어서의 해빈의 변화는 하천수의 유입과 파랑의 유입으로 인하여 일반적인 해안 일대의 변화와 비교하여 보다 복잡한 양상을 띠게 되고, 빠르게 변하는 특성을 가지고 있다. 이러한 하구의 특성에 대해 하구지역은 다년간 많은 연구가 진행되어 왔다(유 등, 1993; 박 등, 1996; 이 등, 1997; 이, 1998; 정, 1999; 김, 2000; 하, 2000; 류, 2001).

연안역개발이 이루어지는 해역에서의 해빈의 변형 즉, 해저토사이동과 해저지형의 변화를 일으키는 요인은 파랑과 파랑에 의해 발생하는 해빈류, 조류, 바람 및 하구에서의 유출류 등을 들 수 있으나, 가장 큰 요인은 파랑과 해빈류라고 할 수 있다.

각종 항만 구조물과 해안 구조물을 설계함에 있어서 구조물에 의해 해당해역의 파랑이 변한다. 이에 따라 해빈류장에 변화를 일으켜 표사를 이동시키고, 최종적으로는 해저 지형에 변화를 가져오게 된다.

평면 파랑장의 계산은 많은 수법이 있으나 파의 에너지방정식과 운동방정식으로 해석하는 2가지 방법으로 대별된다. 전자에는 파향선법과 에너지 평형방정식법(Phillips, 1966)등이 있으며, 후자에는 수치파동해석(Ito and Tanimoto, 1972)법, 환경사방정식(Berkhoff, 1972), 확장환경사방정식(Massel, 1993; Lee et al, 1995), 포물선형방정식(Radder, 1979; Booij, 1981; Kirby, 1986), 쌍곡선형방정식(Smith and Sprinks, 1975; 渡辺, 1984; Kajima, 1985)등이 있다.

또한 파랑장의 변화에 따라 발생하는 해빈류의 계산은 잉여에너지의 개념을 도입함으로써 활발한 연구가 진행되었다(Longuet-Higgins and Stewart,

1964). 이에 따라 수치해석기법을 도입하여 파랑과 바람에 의한 해빈류의 특성을 예측하게 되었고(Noda et al., 1974), 그 후로 시간의존성형 모델(Birkemeier and Dalrymple, 1976)이 개발되었으며, 파랑의 비선형 효과에 대한 연구(Hedges, 1976; Ebersole and Dalrymple 1980; Yamaguchi, 1986)와 연안류의 마찰항에 대한 연구(Nishimura, 1985)도 진행되었다.

파랑과 흐름이 공존하는 지역에서 발생하는 해저 변형에 관한 연구는 해안선 모델 즉, 해빈변형을 해안선의 위치에 대표시켜 해안선을 따라 연안 표사량의 분포를 계산하는 기법으로 해안선에 연한 쇄파파고와 파향의 계산으로 2차원적 해안선변화를 연구하는 것과, 대상이 해빈 전역에 걸쳐 파랑과 표사량을 구하여 3차원적인 해빈변형의 시간 변화를 예측하는 3차원 해저지형변형에 관해서는 Watanabe(1981,1984), 이 등(1999) 및 신 (2000)의 연구가 대표적이다. 그러나, 해안선, 해저지형변화에 관한 많은 수의 과거 연구는 약최저저조위면을 기준으로 한 단일 수위에 대하여 적용, 평가한 것이 주가 되어 있으며, 우리나라 서해안과 같이 조위변화가 큰 해역에서의 파랑장, 해빈류장의 변화에 따른 해저지형변화의 연구에는 비합리적인 면이 있다. 특히 이들 해안역에서 광범위한 항만개발 및 연안역개발이 계속 진행되고 있고 이로 인한 분석에서는 여전히 수위변화에 따른 효과를 무시하고 있어서 보다 실질적인 분석이 요구되고 있는 실정이다.

1.2 연구 목적 및 방법

본 연구에서는 이러한 해면변화에 따른 해저지형변화를 분석하기 위해 현장 관측과 자료를 정리하고 수치모델을 수립하여 시뮬레이션을 행하여 해면변화를 고려한 경우에 이것이 해저지형에 어떠한 변화를 가져오는 것인가를 분석하고자 한다.

대상해역으로는 조석의 영향을 비교적 많이 받고 있으며 개발이 활발히 추진되고 있는 방포항을, 조석의 영향이 적은 지역으로는 낙동강 주변역을 선정하여 조석의 영향에 따른 연안 표사의 이동양상을 알아보고자 하였다.

방포항 지역의 경우, 우리나라 서해안에 위치한 어항으로써 이 지역 일대는 경관이 좋은 지역으로 해수욕장과 관광지로 유명하지만, 조석의 영향이 큰 지역으로 평가받고 있다. 방포항 남단 및 북단에 위치한 꽃지해수욕장과 방포해수욕장에서는 해빈이 유실되고 있으며, 이동된 표사가 방포항내로 유입되어서 퇴적하고 방포항에서의 선박통항시간은 일일 3시간 정도에 불과하게 되어 어민의 피해가 심각한 실정이다. 또한 꽃지해수욕장의 해안은 과거에 입경이 작은 사빈으로 되어 있었으나, 최근에는 매년 입경이 큰 자갈로 되는 비율이 높아지는 등의 환경변화가 심한 지역이다. 이로 인해 현재 방포항 입구에 항만 구조물을 설치하여 토사의 유입을 막기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

한편, 낙동강 지역은 다년간 많은 연구가 있었지만, 우리나라 제 2의 강으로써 강의 규모가 방대하고, 낙동강 상류에서 흘러나오는 유출수와 해수의 혼합으로 그 메카니즘을 해석해내기 곤란하며, 낙동강 하구의 삼각주는 생성 및 소멸을 반복하고 있으며 하구역에서의 지형변화가 예측이 불가능할 정도로 빠르게 변하고 있는 지역이다. 이는 낙동강 하구둑의 건설과 더불어 유출수의 양 즉, 수문 조작에 의해서도 많은 영향을 받고 있으며, 가덕도와 다대포 일대의 해양 환경에 대해서도 노출되어 있고, 또한 인위적인 개발로 인하여 퇴적 환경 변화가 많을 것으로 예상된다. 그러나 낙동강하구에서 유출수 작용과 파랑이 공존하는 경우의 해빈류에 의한 지형변화와 파랑만 고려했을 경우의 지형변화에 대해서 분석해 본 결과, 하구둑으로부터의 유출에 의한 영향이 작은 것으로 판단되어(박 등, 1997) 하구둑에서의 유출은 고려하지 않고 파랑만의 외력으로 인한 해저지형변형을 다루기로 하였다.

해저지형변화에 대한 예측을 위해 외해에서 천해에 이르는 광범위한 연안

해역에서 정도 높은 파랑변형모델, 파랑변형에 따른 해빈류 계산 모델 및 해저 지형 변형 계산모델을 모두 결합한 3차원 해빈변형 모델을 구성하였다. 이것을 방포항 주변역과 낙동강 하구역 등 조석의 영향이 많은 지역과 조석의 영향이 미흡한 지역으로 구분하여 적용하고 두 지역간의 특성을 비교하여 해저지형변화에 조석이 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

제2장 파랑 및 해빈류 이론

연안역에서의 기본적인 외력은 파랑이다. 외해로부터 전파하는 파는 천해역으로 들어오면서 굴절 및 천수변형을 하고, 구조물이 있을 경우에는 반사와 회절을 하며, 결국 쇄파하는 파랑은 정선에 달하기전까지 대부분의 에너지를 소산하게 된다. 이러한 조건을 만족하는 파랑의 변형을 계산하는 것은 해빈과 정의 예측을 하는 첫 번째 단계라 할 수 있겠다.

현재까지 제시된 선형 파랑 모델 중에서 쇄파를 제외한 파랑 변형을 모두 고려할 수 있는 지배방정식으로는 완경사 방정식(Berkhoff, 1972)을 들 수 있으나 이 방정식은 타원형 방정식이기 때문에 해석에 있어서 전 영역의 경계조건 설정에 어려움이 있으며, 또한 해석대상 영역이 협역이 아닐 경우(파랑의 계산 범위가 10파장 이상일 경우)는 계산량의 과다로 인해 수치계산상의 효율성이 감소된다는 단점을 가지고 있다. 특히 파랑 계산 자체만으로 계산을 종료하는 것이 아니라 변형된 파랑으로부터 해빈류 및 지형변화 등으로 계산을 확장해 가면 시간적인 효율성이 더욱 떨어지게 된다.

본 연구에서는 파랑계산을 위해서 완경사 방정식으로부터 변형시킨 포물선 완경사 방정식(Radder, 1979)을 채택하였는데, 이는 파의 방향이 미리 지정한 방향과 큰 차이가 없을 때 타원형 방정식을 포물선형 방정식으로 근사시킬 수 있기 때문이다.

또한 파의 굴절, 회절 및 천수효과를 동시에 계산 할 수 있으며 외해의 입사 경계로부터 해안에 이르기까지 순차적으로 계산할 수 있는 장점을 가지므로 계산의 효율성이 대단히 높다. 해를 구하는 방법은 입사경계에서 임의의 파고와 파향이 주어지면, 측면경계에서 파를 관통시키거나 임의의 크기로 반사시키고, 파가 진행해 나아가는 방향으로 해를 구하는 방법을 사용한다. 이 해법은 자료의 저장량과 계산시간이 아주 적어 타원형 방정식이나 쌍곡선형

방정식의 해법에 비해 더 경제적인 장점이 있는 반면, 반사 성분을 제외시켰다는 점으로 인해 파의 반사가 현저한 경우(항내의 부진동 해석등)에는 적용하기 어렵고, 파의 방향이 미리 지정한 방향과 큰 차이가 날 때 많은 오차가 발생하는 단점이 있다.

연안역에서는 기인력이 서로 다른 해류, 조류, 취송류, 파랑류 등 다양한 흐름이 존재하며, 다양한 흐름과 파랑변형 현상의 복합적 상호작용에 의한 결과로 연안역 해수 순환현상이 나타나고, 이 흐름은 해안류와 해빈류로 대별된다.

해안류는 연안해류와 조류로 이루어지고 일반적으로 해안선에 평행하게 흐르고 외빈보다는 원빈에서 탁월하며 해빈류라 함은 주로 파랑에 의해 발생하는 것으로 해빈의 거동 즉, 해저물질의 이동과 이에 따르는 해저지형 변화와 밀접한 관계가 있는 연안에 관계한다.

해빈류에 관한 이론적 취급은 Longuet-Higgins와 Stewart(1964)가 잉여응력에 대한 개념을 도입하여 파랑의 비선형 효과를 비롯하여 연안류에 의한 제현상을 해석할 수 있게 하였고, 이로 인해 대부분의 해빈류 모형은 천수방정식에 잉여 응력을 포함시켜 해석하여 파랑작용으로 인한 흐름인 해빈류를 모의할 수 있게 되었다. Sonu(1972)는 대규모 현지관측을 실시하여 해빈류에 대한 정량적인 평가를 시도한 바 있다.

해빈류의 수치모델 실험에서는 독립적으로 계산을 수행할 수 있는 것이 아니라 전단계인 파랑장의 계산결과를 입력자료로 사용해야만 하고, 상당히 복잡한 파랑과 지형조건에서도 안정해야 하며, 계산시간도 과다하지 않아야 한다.

파랑변형의 계산 결과를 입력자료로 하여 연안에서의 해빈류를 구하기 위해서는 반복계산이 필요하게 되는데, 이는 변화하는 파랑의 상호간섭에 의한 해빈류의 변화를 가능하면 정확하게 구하기 위해서이다.

본 연구에서는 파랑의 Radiation stress에 기인한 평균류는 연직방향으로도

분포를 하고 때로는 상층의 흐름과 하층의 흐름이 반대의 방향이 되기도 하지만, 3차원적인 흐름을 해석하기 곤란하므로 연속방정식과 운동방정식을 기초로 하여 연직방향으로는 일정한 흐름으로 가정한 평면 2차원방정식으로 해석하기로 한다. 한편 마찰항과 수평혼합에 관한 이론은 Nishimura(1982)등의 연구를 참조하였다.

2.1 파랑장 이론

2.1.1 지배방정식

좌표계를 Fig. 2.1에서 표시한 바와 같이 취하고, 각 위치에서의 x 축과 이루는 파향각 θ 를 가진 진행파와 일정한 흐름성분 \vec{U} 가 공존하는 장에서는 임의 지점의 입사파 파수벡터 \vec{k} 와 각주파수 ω 사이에는 다음 식(2.1)의 분산관계식이 성립한다.

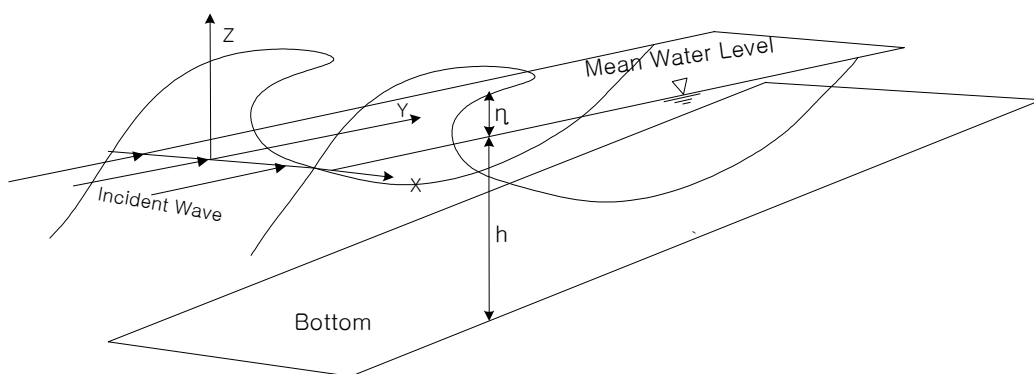


Fig. 2.1 Definition of the coordinate system for wave

$$\nabla \cdot \{CC_g \nabla \phi\} + \omega^2 \frac{C_g}{C} \phi = 0 \quad (2.1)$$

여기서, $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$

C : 파속

C_g : 군속도

ϕ : 수평방향 속도포텐셜

ω : 각주파수

여기서, 다시 $\phi(x, y)$ 에 scaling factor $\psi = \sqrt{CC_g} \phi$ 를 도입하고, y방향의 진행파에 대해 환경사방정식을 정리하면 다음과 같은 Helmholtz방정식이 얻어진다.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -k^2 \psi \quad (2.2)$$

식 (2.2)의 Ψ 를 입사파 성분 ψ^+ 와 반사파 성분 ψ^- 로 나누고, Radder(1979)와 같이 splitting matrix법을 도입하면,

$$\frac{\partial \psi^+}{\partial y} = \left\{ ik - \frac{1}{2k} \frac{\partial k}{\partial y} + \frac{i}{2k} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right\} \psi^+ + \left\{ \frac{1}{2k} \frac{\partial k}{\partial y} + \frac{i}{2k} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right\} \psi^-$$

$$\frac{\partial \psi^-}{\partial y} = \left\{ \frac{1}{2k} \frac{\partial k}{\partial y} - \frac{i}{2k} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right\} \psi^+ + \left\{ -ik - \frac{1}{2k} \frac{\partial k}{\partial y} - \frac{i}{2k} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right\} \psi^-$$

이 되고, 반사의 성분 ψ^- 를 무시함에 따라 식(2.3)과 같은 포물선형 환경사방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} - ik\psi + \frac{1}{2k} \frac{\partial k}{\partial y} \psi + \frac{i}{2k} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = 0 \quad (2.3)$$

k : 쇄파로 인한 감쇠효과를 고려한 복소수 파수, $i=\sqrt{-1}$

한편, 외해에서 해안으로 진행하는 파는 수심이 얕아짐에 따라 천수변형으로 인해 파고가 증대되며 마침내 쇄파하여 에너지가 소산되고, 이러한 현상은 파고의 감소, 평균해면의 상승 및 이로 인한 해빈류 발생 등으로 나타난다.

2.1.2 쇄파 조건

본 모델에서는 쇄파의 판정을 畠田(1975)의 쇄파 판정식을 이용한다.

$$\frac{H_b}{L_0} = A \left[1 - \exp \left\{ -1.5 \frac{\pi h_b}{L_0} (1 + K \tan^s \beta) \right\} \right] \quad (2.4)$$

여기서 $A=0.12 \sim 0.18$, $K=15$, $s=4/3$, $\tan \beta =$ 해저구배

식(2.4)를 이용하여 쇄파 파고 (H_b)를 산정하고 매 계산격자에서 산정되어진 파고 (H_c)가 $H_b \leq H_c$ 일 경우 쇄파, $H_b > H_c$ 일 경우 비쇄파로 판정하였으며, 이는 수심에 의해 규제되는 쇄파 현상을 위하여 파고 분포에 있어서 쇄파한계를 넘는 부분의 에너지가 소산되어 파고가 작은 파로 재생된다고 생각한 것으로 쇄파를 파고의 특정 폭에 대해 고려한 것이 특징이다.

쇄파후의 에너지 감쇠율은 渡辺・丸山(1984)가 제시한 다음의 식(2.5)을 이용하고 식(2.5)로 파고 감쇠 효과를 계산하였다.

$$C_f = \alpha_D \frac{\tan \beta}{\omega} \sqrt{\frac{g}{h}} \quad (2.5)$$

$$k=k'\sqrt{1-\left(\frac{C_f}{2\omega}\right)^2+i\left(\frac{C_f}{\omega}\right)} \quad (2.6)$$

여기서, C_f 는 에너지 감쇠계수

α_D 는 계수($\alpha_D=2.5$)

$\tan \beta$ 는 평균해저경사

k' 는 분산관계식 $\omega^2=gk'\tanh k'h$ 를 만족하는 각 지점에서의 파수를 나타내며 쇄파대를 벗어난 구역에서는 $k=k'$ 이 되어 통상의 파수와 동일하지만, 쇄파대 내에서는 복소수가 되어 파의 진행과 쇄파가 수반되는 에너지 감쇠를 고려한 상기 제시한 식(2.6)와 같이 표현된다.

계산되어진 각 격자점에 있어서의 ϕ 로부터, 입사파의 진폭이 a_0 인 경우 파고 (H) 및 파향 (θ)는 각각 식(2.7)과 같이 산정된다.

$$H=2a_0|(\sqrt{CC_g})^{-1}\phi| \quad (2.7)$$

$$\theta=\frac{1}{2}\tan^{-1}\frac{2\hat{u}\hat{v}\cos\chi}{\hat{u}^2-\hat{v}^2}$$

여기서, \hat{u} 는 x 방향의 파동 유속변동 진폭

\hat{v} 는 y 방향의 파동 유속변동 진폭

χ 는 (x, y) 방향 파동유속 (u, v) 변동의 위상차

2.2 해빈류장 이론

과장수평면내에 직교좌표계(x, y)를 취해 해빈류의 각 방향 속도성분 U, V , 평균수위 상승량(wave setup)을 $\bar{\eta}$ 라고 할 때, 평균수위의 상승량에 관한 연속방정식과 운동방정식은 식(2.8)~식(2.10)와 같다.

2.2.1 지배방정식

수심과 밀도는 시간에 따른 변화가 없다고 가정하고 질량수송식을 시간에 대한 평균과 수심에 대해 적분하여 연속방정식은 다음의 식(2.8)과 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x}(h + \bar{\eta}) + \frac{\partial V}{\partial y}(h + \bar{\eta}) = 0 \quad (2.8)$$

운동 방정식은 좌표축을 다음의 그림과 같이 정의하고 x, y 방향에 대한 N-S방정식(Navier-Stokes equation)을 평균흐름에 대해 같은 방법으로 적용하여 정리하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} + F_x - M_x + R_x = 0 \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} + F_y - M_y + R_y = 0 \quad (2.10)$$

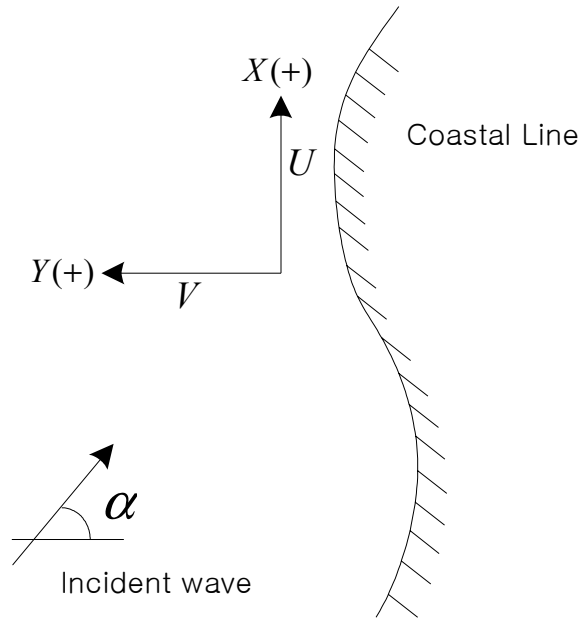


Fig. 2.2 Definition of the coordinate system for longshore current

여기서 x, y : x 축은 정선에 평행한 방향, y 축은 외해방향을 양(+)의 방향

t : 시간

U, V : 수심방향으로 평균화한 x, y 방향의 유속

$\bar{\eta}$: 정수면에서의 평균수위 변화량

h : 정수상태하의 수심

R_x, R_y : 파에 의한 잉여응력항

F_x, F_y : 파와 흐름에 의한 마찰항

M_x, M_y : 수평혼합항

2.2.2 주요 외력의 평가식

1) 저면마찰항(F_x, F_y)

파와 흐름이 공존하는 해빈류 계산에 있어서 저면마찰항 F_x, F_y 는 다음에 표시한 西村(1981)가 제안한 정상류에 대한 평가식을 사용한다. 이 식은 마찰항 평가를 위해 양호한 근사식으로 알려져 있는데, 기본적으로 단일진행파와 평균류가 공존하는 장에서 평균마찰력의 시간평균치로써 다음식이 일반적으로 이용된다. 즉, 미소진폭파이론에서 정현파의 절대유속의 평균치에서 이와 같은 단형파 진동으로 치환하여 근사적인 1주기의 평균치를 구한 것이다.

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \frac{f}{h+\eta} \left[\left(W + \frac{w_b}{W} \cos^2 \alpha \right) U + \frac{w_b}{W} \cos \alpha \sin \alpha \cdot V \right] \\ F_y &= \frac{f}{h+\eta} \left[\frac{w_b}{W} \cos \alpha \sin \alpha \cdot U + \left(W + \frac{w_b}{W} \sin^2 \alpha \right) V \right] \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

여기서

$$W = \left\{ \sqrt{U^2 + V^2 + w_b^2 + 2(U \cos \alpha + V \sin \alpha)w_b} + \sqrt{(U^2 + V^2 + w_b^2 - 2(U \cos \alpha + V \sin \alpha)w_b)} \right\} / 2$$

이 때, f 는 마찰계수(0.01정도), α 는 파의 진행방향이 x 축과 이루는 각, w_b 는 미소진폭파의 절대유속 평균치로 다음 식으로 나타낸다.

$$w_b = \frac{\omega H}{\pi \sinh k(h + \eta)} \quad (2.12)$$

또한, 마찰계수 f 는 비정상 계산의 초기에 있어서의 안정적인 계산을 위해 초기 단계에서는 큰 값 f_{\max} 를 취하고 계산이 진행해 감에 따라 cosine함수를 이용하여 본래의 마찰계수(f)로 접근 시켰다.

$$f = (f_{\max} - f) \cdot \cos^4 \left\{ \frac{\pi}{2} \frac{t}{(t_{\max}/3)} \right\} + f \quad (2.13)$$

여기서, f_{\max} 는 마찰계수의 초기치 (f 의 10배 정도), t 는 계산 루프의 시각, t_{\max} 는 계산 루프의 최종시각이다.

2) 수평운동량 확산항(M_x, M_y)

해수의 유동중에 포함되는 난류성분의 등방성 및 이것에 기인한 전단력이 평균유속구배에 의해 기술된다고 하는 점성과 유사한 가정을 도입하면 난류에 의한 수평혼합항 M_x, M_y 는 식(2.14)로 표시된다. 쇄파시에 발생하는 강한 난류는 쇄파대내 거의 전역에 분포하고 있다.

운동량의 확산항은 ϵ 을 확산계수로 하여 다음과 같은 일반식으로 나타낼 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} M_x &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{xx} \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{xy} \frac{\partial U}{\partial y} \right) \\ M_y &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{yx} \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{yy} \frac{\partial V}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

여기서 $\epsilon_{xx}, \epsilon_{xy}, \epsilon_{yx}, \epsilon_{yy}$ 는 와확산계수이며 이를 $\epsilon_{xx}=\epsilon_{xy}=\epsilon_{yx}=\epsilon_{yy}=\epsilon$ 으로 두면 Longuet-Higgins(1970)의 평가식을 사용하여 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\epsilon = Nl\sqrt{g(h+\eta)} \quad (2.15)$$

여기서 N 은 0.01의 크기를 가진 무차원 정수이며 0.016이하가 되어야 한다. 또한, l 은 구조물에서 정선까지의 거리로 평가하여 근사적으로 $\frac{h}{\tan \beta}$ 로 계산한다. 그러나 이는 회절역 등의 파고가 작은 영역에서 확산계수가 과대하게 평가되므로, 파고에 따라 변화하도록 James(1974)에 의해 개량된 다음 식 (3.9)을 이용하였다.

$$\epsilon' = N\sqrt{gh} \frac{H}{0.4h} \quad (2.16)$$

여기서 , N 는 정수(0.016), H 는 파고, l 는 이안거리이며, 쇄파점에 있어서 확산계수가 최대 ϵ_{\max} 가 되도록 쇄파점으로부터 외해측은 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$\epsilon = \epsilon_{\max} \left(1 - \tanh \frac{\epsilon' - \epsilon_{\max}}{\epsilon_{\max}} \right), \quad \epsilon' > \epsilon_{\max} \quad (2.17)$$

3) 잉여응력(Radiation Stress, R_x, R_y)

파에 의한 외력항 R_x, R_y 는 잉여응력($S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$)을 사용하여 식 (2.18)로 나타낼 수 있다. 균일하지 않은 파랑장에서는 잉여응력의 구배에 비례한 평균적인 외력이 해수에 작용하고 이것이 평균수위의 구배와 해빈류를 발생시킨다. 운동방정식(2.9~2.10)은 그 사이의 힘의 평형을 기술한 것에 불과하다.

$$\left. \begin{aligned} R_x &= -\frac{1}{\rho(h+\eta)} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) \\ R_y &= -\frac{1}{\rho(h+\eta)} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

여기서 ρ 는 해수 밀도이며, $S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$ 는 파로 인한 잉여응력으로 써 전절의 파랑계산에서 얻어진 속도 포텐셜 ϕ 를 이용하여 다음과 같이 산출된다(Mei, 1973).

$$\begin{aligned} S_{ij} = & \frac{\rho g}{4} \left\{ Re \left[\frac{\partial \phi}{\partial x_i} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \right] \frac{1}{k^2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \right. \\ & \left. + \delta_{ij} \left[|\phi|^2 \frac{2kh}{\sinh 2kh} + \frac{2kh \coth 2kh - 1}{2k^2} \left(\left| \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|^2 - k^2 |\phi|^2 \right) \right] \right\} \end{aligned} \quad (2.19)$$

여기서, $i=x, y, j=x, y$ ϕ^* 는 ϕ 의 공액 복소수, δ_{ij} 는 크로네크델타 함수 ($\delta_{xx}=\delta_{yy}=1, \delta_{xy}=0$)이다.

제3장 표사와 해저지형 변화 이론

쇄파대에서 쇄파에 의한 파랑장의 변화와 해빈류장의 변화로 인해 표사가 이동되어 나타나는 해안선 및 해저지형의 변화, 항만매몰 및 침식현상에 대한 예측수법은 수치모델실험, 수리모형실험 및 현장조사의 방법으로 나눌 수 있으며 이들을 모두 병행하여 연구하는 것이 합리적이고, 좀더 정확한 예측자료를 산출할 수 있지만, 실험의 여건상 본 연구에서는 수치모델의 개발과 적용에 국한시키기로 한다.

외력이 되는 파랑으로 인한 해빈류를 먼저 계산하고, 각 지점에서 국지적인 파랑과 흐름이 공존하는 조건에서 3차원 지형변화모델로 표사의 방향과 양을 계산한 후, 표사의 평면분포에서 저질량의 보존식에 기초한 각 위치점에서의 저면높이의 시간적 변화량을 산정함으로써 단기적인 공간적 지형변화를 예측한다. 결과적으로 파와 흐름이 공존하는 장에서 표사 이동량의 공간적인 불균일성으로 인해 수심변화를 수치적으로 계산해 내는 것으로 다음과 같은 수순을 따른다.

i) 파랑장의 계산 \Rightarrow ii) 해빈류장의 계산 \Rightarrow iii) 표사량과 지형변화의 계산

여기서 i), ii)의 과정은 제2장 및 제3장에서의 모델 실험을 통하여 iii)의 과정에 필요한 입력자료를 계산함으로써 모델이 상호 관련성을 가지게 된다.

3.1 지배방정식

해저지형변동에 관한 표사의 보존식 자체는 극히 간단하여 다음 식(3.1)과

같이 시간에 따른 해저면의 높이 변화를 계산에 도입한 저질량의 보존법칙으로 나타낸다.

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\partial q'_x}{\partial x} - \frac{\partial q'_y}{\partial y} \quad (3.1)$$

여기서 h 는 정수심을 가리키며, 조위의 영향을 포함하지 않은 것이다. z_b 는 Fig. 3.1에서와 같이 임의의 높이를 기준으로 한 국지저면의 높이, t 는 시간을 나타낸다. 또한 x, y 는 수평면상에서 취한 직각좌표계이며 표사량의 x, y 방향성분 q'_x, q'_y 는 해빈의 저면구배 효과를 고려하여 다음과 같이 나타낸다 (Watanabe and Maruyama, 1986).

$$\left. \begin{aligned} q'_x &= q_x - \varepsilon_s |q_x| \frac{\partial z_b}{\partial x} \\ q'_y &= q_y - \varepsilon_s |q_y| \frac{\partial z_b}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

이 때 q_x, q_y 는 연직방향으로 적분된 국지표사량을 나타내며 퇴적상태에서의 공극을 포함한 유효체적으로 나타낸다. 여기서는 이것을 평균흐름의 기여분과 파의 작용에 직접 기인하는 표사량으로 분리하여 다음과 같이 취급한다.

$$q_x = q_{wx} + q_{cx} : x \text{ 방향의 파와 흐름에 의한 국지표사량} \\ (w: \text{wave}, c: \text{current})$$

$$q_y = q_{wy} + q_{cy} : y \text{ 방향의 파와 흐름에 의한 국지표사량}$$

$$q_{wx}, q_{cx}, q_{wy}, q_{cy} : \text{파와 흐름에 의한 국지표사량, 즉, } Q_w, Q_c \text{ 의 } x, y \text{ 방향성분}$$

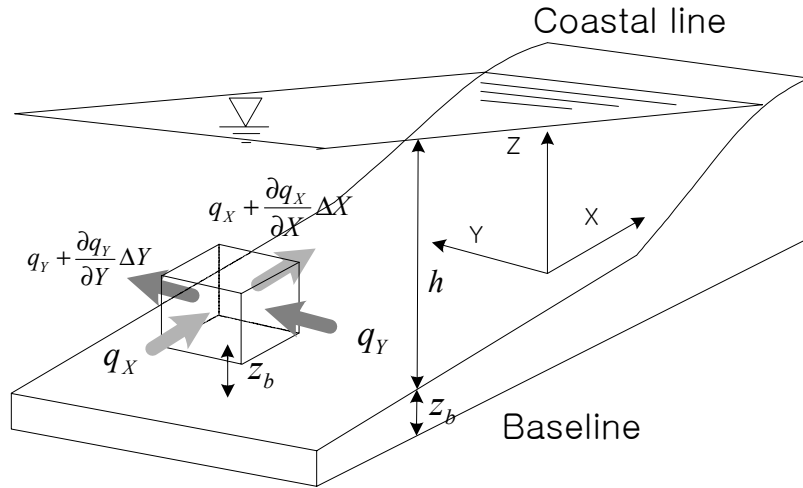


Fig. 3.1 Coordinate system for calculation of the littoral drift

ϵ_s : 무차원계수

(지형안정화 계수로 해저경사효과의 정도에 관한 계수)

표사 즉, 저질의 이동은 비선형성이 강한 현상을 나타내므로 이에 미치는 파와 흐름의 공존효과는 매우 복잡하다. 저면마찰응력은 양자에 의한 것의 단순합으로 구해지지 않으며 궤도유속의 시간변화도 비대칭이 된다. 그 결과 저면에서 발생하는 사련의 형상도 비대칭이 되며 부유표사의 거동을 한층 더 복잡하게 만든다. 이를 고려하면 파와 흐름의 공존하에 표사를 양자의 선형합으로 표현하는 것은 무리가 있는 것으로 생각될지 모른다.

따라서, 파와 흐름이 공존하는 상태하의 표사에 대한 이해가 완전하지 못한 현실점에서는 공존에 의한 비대칭적 궤도유속 및 사련의 형상을 고려한 모델을 무리하게 추진하는 것보다, 위 식에서와 같이 단순히 분리하여 흐름에 의한 표사와 파에 의한 표사 등 각각의 평가식을 종래의 연구성과와 비교하여 그다지 모순이 없다면 상호 정합시키는 것으로 모델화 하는 것이 실용성이 높고 합리적인 것으로 생각된다.

3.2 표사량의 평가식

3.2.1 흐름에 의한 표사량

다음의 식으로 표현되는 흐름에 의한 표사는 파와 흐름이 합성된 저면 마찰응력이 한계치를 넘으면 초과분에 비례한 양의 저질이 이동 상태가 되며, 그 저질이 평균류에 의해 수송된다. 이와 같은 이론에 기초한 표사량 산정식은 상당한 신뢰성을 가진다고 연구되어 있다(堀川,1985).

흐름에 의한 국지표사량 q_c 는 다음의 식으로 평가한다.

$$q_c = A_c \vec{U} \frac{(\tau_*^2 - \tau_{*c}^2)}{g} \quad (3.3)$$

여기서, A_c : 흐름에 의한 표사량의 정도에 관한 무차원 계수(0.1~1.0)

τ_* : 파와 흐름의 공존하에서 저면마찰응력의 최대치

τ_{*c} : 파와 흐름의 공존하에서 저면이동한계마찰응력

\vec{U} : 평균류의 유속벡터

저면의 마찰속도를 사용하여 흐름방향으로 표사량의 계산에는 다음 식을 사용한다.

$$Q_c = A_c (u_*^2 - u_{*c}^2) \cdot \vec{U} / g \quad (3.4)$$

여기서, u_* : 파와 흐름이 공존하는 장에서의 저면마찰속도

u_{*c} : 저질이동한계 마찰속도

단, $u_* \leq u_{*c}$ 에서는 $Q_c=0$ 으로 둔다. 이 식은 파와 흐름의 합성저면마찰응력이 한계치를 넘으면 초과분에 비례한 양의 저질이 이동상태로 되고 그 저질이 평균류에 의해 수송된다는 것을 가리킨다.

따라서, 흐름에 의한 x, y 방향의 국지표사량 q_{cx}, q_{cy} 는 식 (3.5)로 정리된다.

$$q_{cx} = Q_c U, \quad q_{cy} = Q_c V \quad (3.5)$$

쇄파대 내에서도와 같이 쇄파에 의한 요란이 탁월해진 장에서의 마찰법칙의 적용성은 확인되어 있지 않으므로, 쇄파대 내의 저질이동을 일으키는 원천적 힘은 저면마찰이라고 하는 것은 무리가 될지는 몰라도 저질에 작용하는 외력의 크기에 관련된 척도로는 볼 수 있을 것이다. Komar & Inman(1970)은 쇄파점에서 파랑에너지 플럭스의 연안방향성분과 총표사량이 비례관계가 있음을 제시한 바 있다.

3.2.2 파랑에 의한 표사량

쇄파대 외측의 단일 진행파 조건에 있어서 파의 왕복운동에 기인한 실질적인 표사량의 절대치는 Watanabe & Shiozaki(1982)에 의해 제안된 다음 식으로 평가할 수 있다.

$$\Phi = B_w (\Psi_m - \Psi_c) \Psi_m^{1/2} \quad (3.6)$$

여기서, $\Phi = (1 - \lambda_v) q_w / w_0 d$ 로 무차원 표사량

$\Psi_m = u_*^2 / sgd$ Shields 수

Ψ_c 한계 Shields 수(활면: 0.11, 조면: 0.06)

q_w 파에 의한 실질적인 표사량의 절대치

λ_v 저질의 공극율

w_0 침강속도

d 저질의 입경

u_* 저면 마찰 속도의 진폭

s 저질의 수중비중(= $\rho_s / \rho - 1$, ρ_s, ρ 저질 및 해수의 밀도)

B_w 무차원 계수

파가 존재하는 영역에서의 저질의 이동은 흐름에 의한 유사와 동일하게 소류사, 부유사 혹은 먼 이동 등의 다양한 형태를 취하고 이들의 이동 형태는 사련의 유무 등에 관계된다. 따라서, 표사량에 있어서도 사련의 유무 및 크기가 영향을 미친다. 또한, 실질적인 표사량을 문제로 다루는 한, 식(3.6)과 같이 단순히 Shields 수 뿐만 아니라, 마찰 응력과 유속 시간파형의 비대칭성을 나타내는 양 등도 포함되지 않으면 불완전한 식이라고 인식되기 쉽다. 그러나, Sonu(1982)는 대형 조파수로를 이용한 현지 스케일의 실험 분석을 통해 쇄파대 외측의 표사량 평가에 적용할 수 있음을 확인하였다(신, 2000).

쇄파대내에서도 같은 정합성이 확인되고 있어 식(3.6)의 식을 쇄파대·외에 모두 적용 가능하도록 변형한 식(3.7)을 사용한다(渡辺 & 丸山, 1984).

$$q_w = \frac{B_w w_0}{(1 - \lambda_v) s \sqrt{sgd}} \sqrt{f_w / 2} \cdot \frac{(u_*^2 - u_{*c}^2)}{g} F_d u_{wb} \quad (3.7)$$

여기서, f_w 마찰계수

u_* 파와 흐름이 공존하는 장에서의 저면 마찰 속도

u_{*c} 저면 이동한계 마찰속도

u_{wb} 경계층 외연에서의 파의 궤도속도(x, y 방향 각각 독립)

F_d 표사의 방향함수

여기서, F_d 는 표사의 이동의 외해방향 혹은 해안 방향을 결정하는 지표이며 다음 식으로 나타난다.

$$F_d = \tanh\left(x_d \frac{\Pi_c - \Pi}{\Pi}\right) \quad (3.8)$$

여기서,

$$\Pi = \Psi \frac{h}{L_0} = \frac{\hat{u}_b^2}{\Delta g d} \cdot \frac{h}{L_0}$$

F_d : 표사방향함수로 표사의 방향이 해안쪽인 경우에 양(+), 외해쪽인 경우 음(-)의 값을 사용한다.

x_d : 무차원계수로 표사의 방향변화점 부근에서 표사량의 변화정도를 나타낸다(1.0 정도를 사용).

Π_c : 표사의 방향변화점에서 Π 의 값(한계값으로 0.16을 취함)

\hat{u}_b : 저면 궤도유속 진폭

L_0 : 심해파의 파장

3.3 저면 이동한계마찰속도의 산정

이상에서 기술한 파랑과 흐름 각각에 대한 표사량의 산정식은 어떻든 본 연구에서 모델의 기본이 되며, 표사량은 이동한계응력에서 저면마찰응력의 초과분에 의존하는 것으로 된다. 따라서 파랑과 흐름이 공존하는 장에서 저질의 이동한계마찰속도 u_{*c} 를 설정할 필요가 있으며 이는 Shields수 $\psi_m = \frac{u_*^2}{\Delta g d}$ 를 사용하여, 한계 Shields수 ψ_c 에 의해 계산한다.

$$u_{*c} = \sqrt{\Delta g d \psi_c} \quad (3.9)$$

이 때, $\psi_c \simeq 0.11$ (가는 모래)와 0.06 (굵은 모래)의 중간치를 내삽에 의해 취함

Δ : 저질의 수중비중 $= (\rho_s - \rho) / \rho$, ρ_s, ρ 는 각각 모래와 물의 밀도

d : 저질입경

가는 모래 및 굵은 모래의 판정은 진동류의 경계층 두께척도 $\delta_L = \sqrt{\nu T / \pi}$ 를 사용하여(渡辺, 1979) $d / \delta_L < 1/6.5$ (가는 모래), $d / \delta_L < 1/4$ (굵은 모래)로 결정한다. 이 때, ν 는 동점성계수이다. 또한, 이 둘의 중간 d / δ_L 에 대해서는 내삽에 의해 구한다.

이상과 같이 쇄파대내에서는 외해파에 비해 저질이 이동하기 쉬운 것을 고려하여 해빈에서 저질의 이동한계 마찰속도를 차원해석에 의해 평가한다. 앞에서 정의된 제반 값은 다음과 같다.

$u_{*c}=0$: 쇄파대 안의 저질이동한계 마찰속도
 $u_{*c}=\sqrt{\Delta g d \Psi_c} \cdot \tanh(\chi_c X_b / \chi_b)$: 쇄파대 바깥의 저질이동한계 마찰속도
 χ_c : 쇄파점을 경계로 하여 u_{*c} 를 연속시킨 무차원계수
 X_b : 쇄파대 폭
 χ_b : 쇄파점보다 외해쪽으로 취한 거리

3.4 저면 마찰속도의 산정

파와 흐름에 의한 각 표사량을 산정할 경우, 팔요하면 저면 마찰속도 u_* 의 산정에는 田中・首藤(1980,1984)의 마찰 법칙을 이용한다. 이 마찰법칙은 정상류와 단일 진행파가 공존하는 영역을 전제로 한 것이지만, 지형변화 계산에서는 구조물에 의한 회절과 반사의 영향에 의해 파랑장에 복수의 성분파가 존재하게 된다. 따라서, 직접 적용하지 않고 마찰법칙중의 수치를 미소 조정하는 것으로 대처한다. 마찰력은 식(3.10)으로 나타낸다.

$$\tau = \rho u_*^2 = \frac{1}{2} f_{cw} \widehat{u_w}^2 \quad (3.10)$$

여기서

f_{cw} : 파와 흐름이 공존하는 영역에서의 마찰계수

$\widehat{u_w}$: 경계층 외연 파동 유속진폭

3.5 경계층 외연 유속진폭의 산정

저면 마찰력을 고려하기 위해서는 식 (3.10)에서 경계층 외연에서의 유속진폭을 계산할 필요가 있다. 이 때, 파랑장에서 평균류의 유향과 파향을 고려하여 이들이 이루는 각도로부터 값을 구한다. 경계층 외연 유속 u_w 는 식(3.11)과 같다.

$$u_w = \frac{\pi H}{L} \frac{\left(\frac{L}{T} - \overline{u_c} \cos \alpha \right)}{\sinh kh} \sin(kx - \sigma t) \cdot (\cos \alpha, \sin \alpha) \quad (3.11)$$

여기서, α 는 평균류와 파향이 이루는 각도, $\overline{u_c}$ 는 단면 평균속도이며, 식 (3.12)에서의 L 은 파장으로 이하의 식을 근사 계산하여 구한다.

$$\left(\frac{L}{T} - \overline{u_c} \cos \alpha \right)^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (3.12)$$

제4장 수치모델의 구성

4.1 지배방정식의 차분화

4.1.1 파랑장

포물선 환경사 방정식의 계산격자 및 변수의 배치를 Fig. 4.1과 같이 정의하고 음해법인 Crank-Nicolson법을 이용하여 식(2.3)의 각 편미분항에 대한 차분식을 만들어 정리하면 다음의 식(4.1)이 얻어진다.

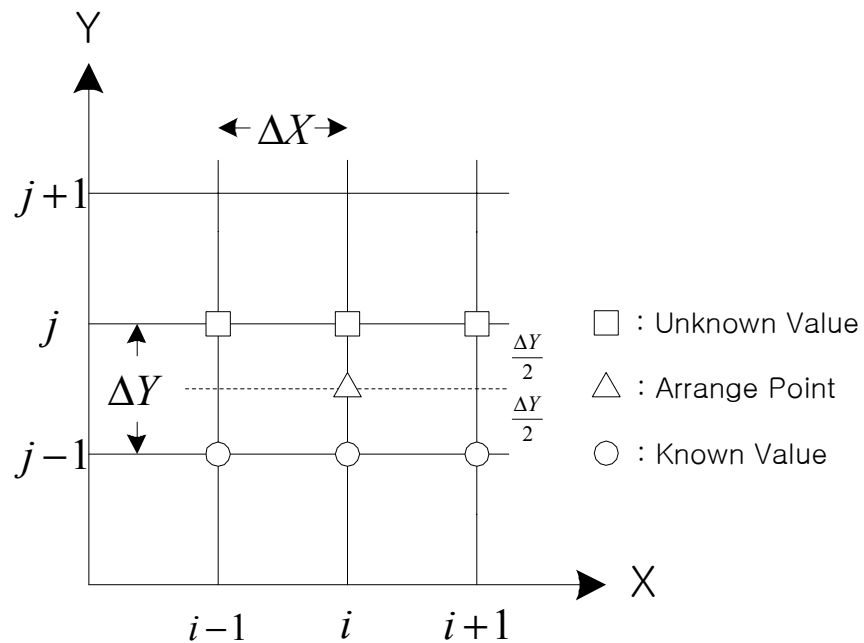


Fig. 4.1 Calculation grid in a wave model

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\phi_{j+1}^{i+1} - 2\phi_{j+1}^i + \phi_{j+1}^{i-1}}{\Delta x^2} + \frac{\phi_j^{i+1} - 2\phi_j^i + \phi_j^{i-1}}{\Delta x^2} \right) \\ \frac{\partial \phi}{\partial y} &= \frac{\phi_{j+1}^i - \phi_j^i}{\Delta y} \\ \phi &= \frac{1}{2} (\phi_{j+1}^i + \phi_j^i) \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

식(4.1)을 식(2.3)에 대입하여 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_i \phi_{j+1}^{i-1} + Q_i \phi_{j+1}^i + R_i \phi_{j+1}^{i+1} = B_i \quad (4.2)$$

여기서

$$P_i = -\frac{i}{2\Delta x^2} \frac{1}{k_{j+1}^i + k_j^i}$$

$$Q_i = -\frac{i}{\Delta x^2} \frac{1}{k_{j+1}^i + k_j^i} + \frac{1}{\Delta y} + \frac{1}{2} \left\{ \frac{k_{j+1}^i - k_j^i}{\Delta y (k_{j+1}^i + k_j^i)} - i \frac{k_{j+1}^i + k_j^i}{2} \right\}$$

$$R_i = -\frac{i}{2\Delta x^2} \frac{1}{k_{j+1}^i + k_j^i}$$

$$B_i = \left[\frac{\phi_j^i}{\Delta y} - \frac{\phi_j^i}{2} \left\{ \frac{k_{j+1}^i - k_j^i}{\Delta y (k_{j+1}^i + k_j^i)} - \frac{i(k_{j+1}^i + k_j^i)}{2} \right\} \right] + \frac{i(\phi_j^{i-1} - 2\phi_j^i + \phi_j^{i+1})}{2\Delta x^2 (k_{j+1}^i + k_j^i)}$$

식(4.2)은 삼중대각행렬이 되고, 경계조건으로는 외해의 경계측에 입사파 조건을 부여하고 양측 경계조건은 식(4.3)의 방사조건을 부여하여 외해에서 해안으로 향해 각 지점의 물리량을 계산하였다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = ik \cos \theta \cdot \phi \quad (4.3)$$

식(4.3)을 차분식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{1}{2} \left\{ \frac{\phi_{i+1}^{i+1} - \phi_{i+1}^{i-1}}{2\Delta x} + \frac{\phi_i^{i+1} - \phi_i^{i-1}}{2\Delta x} \right\} = ik \cos \theta \left\{ \frac{\phi_{i+1}^i - \phi_i^i}{2} \right\} \quad (4.4)$$

4.1.2 해빈류장

해빈류 모델은 다음 Fig. 4.2와 같은 격자로 구성을 하여, 공간적인 미분항은 중앙차분으로, 시간적인 미분항은 전진차분으로 구성을 하면 연속방정식 (3.1)의 차분식은 다음과 같다.

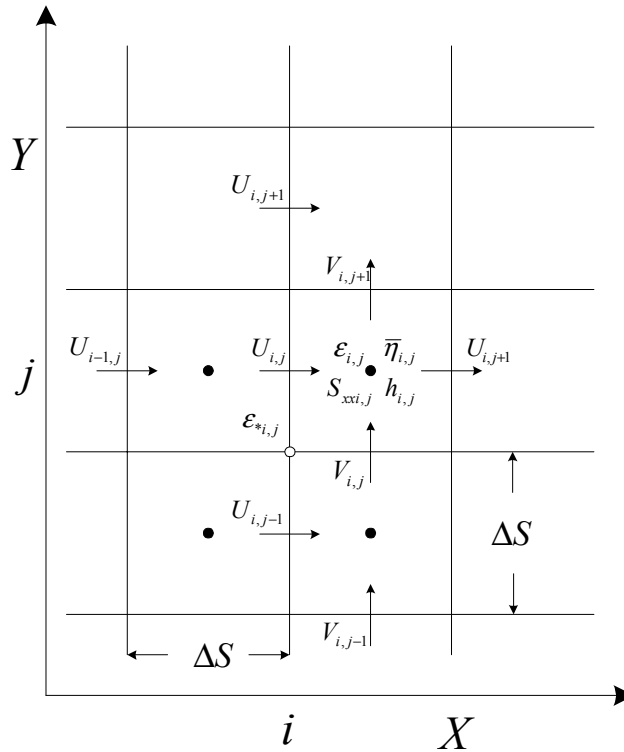


Fig. 4.2 Calculation grid in a longshore current model

$$\frac{\bar{\eta}_{i,j}^{i+1} - \bar{\eta}_{i,j}^i}{\Delta t} + \frac{D_{xi+1,j}U_{i+1,j} - D_{xi,j}U_{i,j}}{\Delta s} + \frac{D_{yi,j+1}V_{i,j+1} - D_{yi,j}V_{i,j}}{\Delta s} = 0 \quad (4.5)$$

여기서

$$\begin{aligned} D_{xi,j} &= \frac{h_{i,j} + \bar{\eta}_{i,j} + h_{i-1,j} + \bar{\eta}_{i-1,j}}{2} \\ D_{yi,j} &= \frac{h_{i,j} + \bar{\eta}_{i,j} + h_{i,j-1} + \bar{\eta}_{i,j-1}}{2} \end{aligned} \quad (4.6)$$

한편 x 축방향의 운동방정식(3.2)은 다음과 같은 차분식이 구해진다.

$$\begin{aligned} \frac{U_{i,j}^{i+1} - U_{i,j}^i}{\Delta t} + U_{i,j}^i \frac{U_{i+1,j}^i - U_{i-1,j}^i}{2\Delta s} + V_{*i,j}^i \frac{U_{i,j+1}^i - U_{i,j-1}^i}{2\Delta s} \\ + F_{xi,j} - M_{xi,j} + R_{xi,j} + g \frac{\bar{\eta}_{i,j} - \bar{\eta}_{i,j-1}}{\Delta s} = 0 \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned} M_{xi,j} = \{ \varepsilon_{i,j}(U_{i+1,j} - U_{i,j}) - \varepsilon_{i-1,j}(U_{i,j} - U_{i-1,j}) \\ + \varepsilon_{*i,j+1}(U_{i,j+1} - U_{i,j}) - \varepsilon_{*i,j}(U_{i,j} - U_{i,j-1}) \} / \Delta s^2 \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} R_{xi,j} = \{ S_{xx,i,j} - S_{xx,i-1,j} + (S_{xy,i,j+1} + S_{xy,i-1,j+1} - S_{xy,i,j-1} - S_{xy,i-1,j-1}) / 4 \} \\ / (\rho D_{xi,j} \Delta s) \end{aligned} \quad (4.9)$$

여기에서,

$$\begin{aligned} V_{*i,j} &= \frac{V_{i,j} + V_{i-1,j} + V_{i,j-1} + V_{i-1,j-1}}{4} \\ \varepsilon_{*i,j} &= \frac{\varepsilon_{i,j} + \varepsilon_{i-1,j} + \varepsilon_{i,j-1} + \varepsilon_{i-1,j-1}}{4} \end{aligned} \quad (4.10)$$

동일한 방법으로 y 방향의 운동방정식도 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
& \frac{V_{i,j}^{i+1} - V_{i,j}^i}{\Delta t} + U_{*i,j}^i \frac{V_{i,j+1}^i - U_{i,j-1}^i}{2\Delta s} + V_{i,j}^i \frac{V_{i+1,j}^i - V_{i-1,j}^i}{2\Delta s} \\
& + F_{yi,j} - M_{yi,j} + R_{yi,j} + g \frac{\bar{\eta}_{i,j} - \bar{\eta}_{i-1,j}}{\Delta s} = 0
\end{aligned} \tag{4.11}$$

$$\begin{aligned}
M_{yi,j} = & \{ \varepsilon_{i,j} (V_{i,j+1} - V_{i,j}) - \varepsilon_{i,j-1} (V_{i,j} - U_{i,j-1}) \\
& + \varepsilon_{*i+1,j} (V_{i+1,j} - V_{i,j}) - \varepsilon_{*i,j} (V_{i,j} - V_{i-1,j}) \} / \Delta s^2
\end{aligned} \tag{4.12}$$

$$\begin{aligned}
R_{yi,j} = & \{ S_{yyi,j} - S_{yyi,j-1} + (S_{yxi+1,j} + S_{yxi+1,j-1} - S_{yxi-1,j} - S_{yxi-1,j-1}) / 4 \} \\
& / (\rho D_{yi,j} \Delta s)
\end{aligned} \tag{4.13}$$

여기에서,

$$\begin{aligned}
U_{*i,j} &= \frac{U_{i,j} + U_{i-1,j} + U_{i,j-1} + U_{i-1,j-1}}{4} \\
\varepsilon_{*i,j} &= \frac{\varepsilon_{i,j} + \varepsilon_{i-1,j} + \varepsilon_{i,j-1} + \varepsilon_{i-1,j-1}}{4}
\end{aligned} \tag{4.14}$$

또한 $F_{xi,j}$ 와 $F_{yi,j}$ 는 식(3.4)에서 $h + \bar{\eta}$ 를 $D_{i,j}$ 로, U , V 는 $U_{i,j}$, $V_{i,j}$ 로 두어서 차분식을 구할 수 있다.

4.1.3 표사 및 해저지형 변화

시간 변화량 Δt 와 저면고 $z_{i,j}$ 를 이용하여 수심 변동에 관한 차분식을 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
z'_{i,j} = & z_{i,j} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[(q_{x_{i+1,j}} - q_{x_{i,j}}) - \varepsilon_s \left\{ |q_{x_{i+1,j}}| \frac{z_{i+1,j} - z_{i,j}}{\Delta x} - |q_{x_{i,j}}| \frac{z_{i,j} - z_{i-1,j}}{\Delta x} \right\} \right] \\
& - \frac{\Delta t}{\Delta y} \left[(q_{y_{i,j+1}} - q_{y_{i,j}}) - \varepsilon_s \left\{ |q_{y_{i,j+1}}| \frac{z_{i,j+1} - z_{i,j}}{\Delta y} - |q_{y_{i,j}}| \frac{z_{i,j} - z_{i,j-1}}{\Delta y} \right\} \right]
\end{aligned} \tag{4.15}$$

여기서, 우변의 $z_{i,j}$ 는 시각 t , 좌변의 $z'_{i,j}$ 는 시각 $t+\Delta t$ 에서의 저면고를 나타낸다. 식에서 q_x, q_y 는 표사량의 플럭스를 나타낸다.

또한, 여기에서는 어느 정도까지의 지형변화가 생기더라도 파와 해빈류장은 그 영향을 받지 않아 변화하지 않는 준정상상태(quasi-steady state)로 가정한 것이다.

식(4.15) 중의 국지표사량도 어느 시간에 걸쳐서는 변화하지 않는 것으로 하여 취급하게 된다. 시간간격 Δt 로 각 지점에서의 저면의 높이 z_b 즉, 수심 h 이 변화하기 때문에 표사량은 시각에 따라 변화하는 것으로 되는 것이다.

그러므로, 해저지형변화가 파랑과 해빈류장에 미치는 영향을 무시하는 이상, 마찰계수 등의 계산에서 수심변화를 고려하는 것은 계산소요시간을 증가시키는 것으로 생각하여 식(4.15)의 적용에서 표사량 q_x, q_y 의 계산은 파랑과 흐름의 장을 계산할 때에 한번만 행하고, 다음에 파랑장을 계산할 때까지는 국지적인 해저구배의 변화에 따른 표사량의 변화만을 고려하는 것으로 한다.

4.2 수치모델의 수립

수치실험은 크게 파랑모델, 해빈류모델, 지형변형모델의 3가지 sub 모델로 구성이 되며, 이는 각각 독립된 모듈을 가지고 있지만 입력 자료가 서로 연계되어 최종적인 지형변화를 예측할 수 있도록 구성하였다.

먼저 계산영역의 기초 자료인 지형 및 수심 자료를 기초로 입사파랑에 대해서 굴절, 회절, 천수변형, 쇄파등을 고려하여 전영역에 걸쳐 해빈류모델과 지형모델의 기초자료로 사용될 잉여응력과 저면 유속이 계산된다.

해빈류장에서는 앞서 계산된 잉여응력을 기본 자료로 하여 각 지점에서의 평균류와 평균 수위를 계산하게 되고 이에 뒤따라 지형변형모델에서는 각점에

서 파랑과 흐름에 의한 표사량의 이동분포를 얻어 최종적으로 주어진 시간동안의 지형의 변화량을 구하게 된다.

조위의 변화가 심한 지역으로는 서해의 방포항 및 주변해역을, 조위의 변화가 미약한 지역은 남해안의 낙동강 하구역을 선정하여 유한차분기법을 통하여 구성하였다.

4.2.1 조위의 변화가 심한 경우

방포항은 어항구역 면적 410,000 m^2 로 안면도 서측 중앙부인 안면읍 승언리에 위치하는 어항으로써, 안면도 동측의 천수만은 원산도의 동단과 송도 사이를 입구로 하여 북쪽으로 약 37km 만입되고, 만구는 작은 섬과 암초 등으로 항로가 굴곡되어 있다.

주변역은 리아스식 해안으로서 간만의 차가 비교적 심하고, 평균해면은 (+)3.059m, 조석 형태수가 0.19인 반일주조가 우세한 조석으로 매일 2회의 고조와 2회의 저조가 나타나며, 평균조차의 크기가 비교적 큰 4.028m로 나타나고 있다. 수심분포는 비교적 완만한 천해역으로서 조위차에 의해 수심분포가 달리 나타나 쇄파 위치가 변하고 있다(충청남도, 2001).

1) 현황

현재 방포항은 주변 해역에서 토사의 이동에 의한 항내 폐색으로, 선박의 통항시간이 하루 3시간 이하로 줄어들어 항만의 기능을 상실해 가고 있다. 주변의 양식장 역시 6개중 3개가 활동할 수 있는 정도이고, 매년 18,000톤의 준설이 이루어지고 있다. 이 방포항의 항로 폐색의 원인은 꽃지해수욕장 및 방포해수욕장의 변화와 맞물려 있다.



Fig. 4.3 Photo for the coast of Bangpo harbor and its neighbor

Fig. 4.3의 방포항에서 외해로 본 모습의 상단 사진과 하단우측의 사진에서 항로의 폐색을 알 수 있고, 중앙의 사진은 방포해수욕장의 사진으로 방포해수욕장의 사빈이 연안류에 의해 이동되어 방포항으로 이동하나 방포항 북단의 방파제에 저지되어 방파제 부근에 퇴적된 모습을 나타낸다. 하단좌측의 사진에서는 꽃지해수욕장으로 사빈의 입경이 매우 큼을 알 수 있으며, 기존의 사빈은 연안류에 의해 방포항으로 이동된 것으로 추정하고 있다.

과거, 꽃지 및 방포해수욕장의 해변은 입경이 작았으나 이 사빈이 점차 입경이 큰 자갈로 바뀌어가고 있으며 여기서 이동한 사빈은 연안류의 영향으로 방포항내로 유입되어 퇴적되는 것으로 사료된다. 이는 꽃지 해수욕장의 해안도로를 설치하기 위해 해안선을 따라 소규모 옹벽을 설치(1993)한 이후에 옹벽배후로 토사의 유입을 막아 해안 사빈이 평형을 이루지 못하기 때문이다.



Fig. 4.4 Gotji beach and Bangpo harbor plan

따라서 현재 토사가 방포 항내로 유입되는 것을 막기 위하여 여러가지의 구조물 건설을 계획하고 있다.

2) 모델구성

방포항의 파향은 동계에 중국 대륙으로부터 발생하는 계절풍에 기인한 WNW 파향이 우세하고, 하계에는 태풍에 의해 발생하는 파랑중에서 SSW 파향이 지배적이다(충청남도, 2001).

이 해역에서 관측치 분석에 의한 평균 해수면의 높이는 (+)3.06m이고, WNW 파향이 파고 3.1m, 주기 9s, SSW 파향은 파고 3.7m, 주기 10s로 평균 고조위와 평균저조위에서의 입사파랑에 대한 수치실험을 실시하였다. 계산은 3×4km의 영역에 대하여 $\Delta x = \Delta y = 5m$ 의 정방형 격자로 구성하였다.

Table. 4.1 Characteristics of Bangpo harbor

Mean sea level	Mean tidal range	Structure	Inflow of fresh water	Grid spacing
(+)3.51m	4.20m	○	×	$\Delta x = \Delta y = 5m$

Table. 4.2 Incident wave characteristics at Bangpo harbor

Season	Wave height	Wave period	Wave direction
Winter	3.1m	9.0	WNW
Summer	3.7m	10.0	SSW

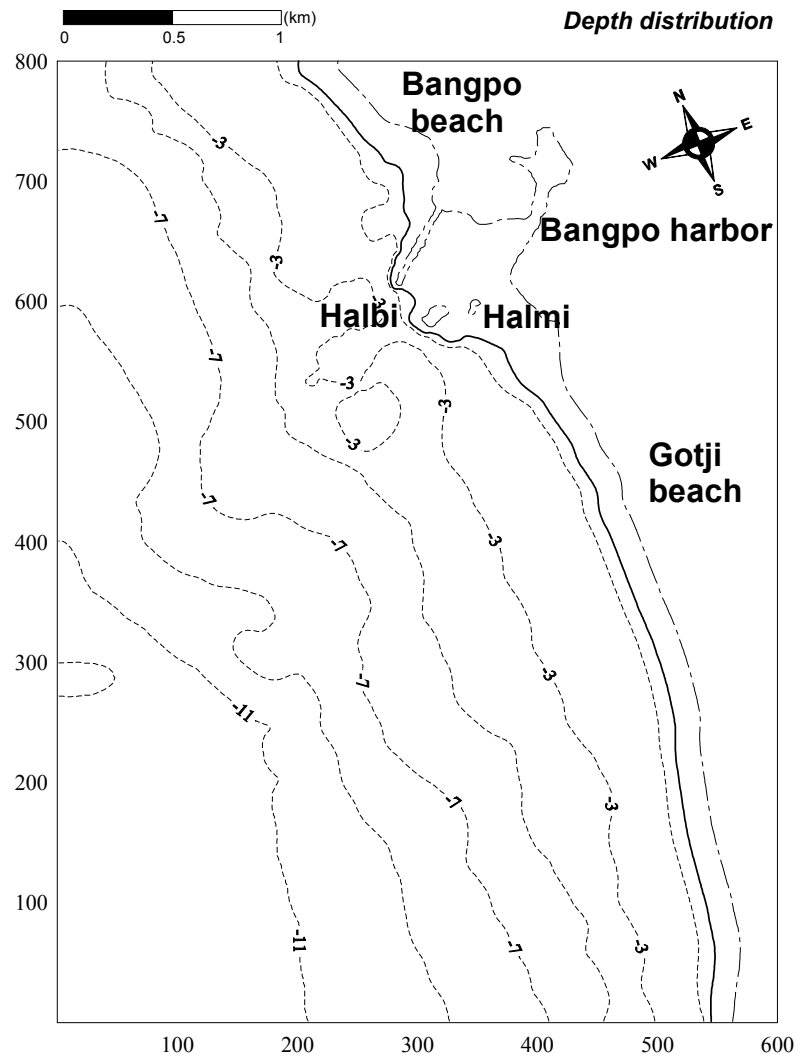


Fig. 4.5 Depth of Bangpo harbor and adjacent coastal area

4.2.2 조위의 변화가 미약한 경우

낙동강 하구 지역의 조석은 국립해양조사원(1999)의 자료에 의하면 평균 고조 간격이 8h 18m으로 반일주조가 강하고, 대조차 1.7m, 소조차 0.7m, 평균해면 0.95m로 나타났다.

1) 현황

낙동강은 양산시 물금읍 부근에서 대동수문을 지나면서 동서로 분류하고 서낙동강과 낙동강 본류로 나뉘게 되고, 본류는 다시 을숙도 중심으로 서측과 동측으로 나뉘어 해안으로 유입되지만, 서낙동강의 경우는 대동수문과 녹산수문의 건설(1934)이후 하천수의 유출이 중단된 담수호로 바뀌게 되었고, 본류 또한 1987년 낙동강 하구언의 축조로 인해 동측으로만 유출된다.

본류를 통한 토사의 유출은 해안에서 해수와 혼합을 한 후, 외해로 밀려 나갔으나, 하구언 건설 이후, 홍수시와 간조시의 유출수가 해수와 급격히 만나게 되어 해수의 혼합, 즉 완충작용 없이 외해로 밀려 나가게 되었고, 이는 만조시 다시 파랑의 작용으로 인하여 하구 지역으로 토사를 이동, 퇴적하는 양상을 나타내고 있다(김, 2000).

이 지역은 주위의 가덕도와 물운말 지역으로 인해 만의 모양을 하고 있으며 가덕도 주위의 수심은 비교적 급한 양상을 나타내지만, 낙동강 하구의 경사는 비교적 완만한 경사를 가지고 있어 저조시 진우등, 대마등 등의 하구역의 섬들이 육지로 나타나 인지하는 조석의 영향은 큰 지역이라 할 수 있으나, 실제 조차가 작아 소조차 해안으로 평가된다. 소조차 해안의 지형형성은 하천수에 의한 담수의 공급과 파랑의 영향이 크다(Pethick, 1984).

낙동강 지역의 지형은 1861년 제작된 대동여지도에서 현재의 대저도와 명호

도만이 나타나 있고 1904년 조선토지농산조사보고 경상, 전라도편에서는 신호도(현 신호리), 대마등, 이협등(진우등)이 나타났고, 1916년 제작된 지형도(관동군 사령부)에는 장자등이 나타나 있다.

1955년 제작된 지형도(미 극동군 사령부)에는 다대포의 북쪽에 백합등이 새롭게 나타나고, 대마등의 서측 부분의 폭이 좁아지면서 진우등과 장자등이 동쪽에서 서쪽으로 성장하고 있음을 알 수 있다. 이후 1975년에 제작된 지형도(국립지리원)에서 신호도는 공단과 택지조성을 위한 간척으로 육지와 연결되었으며, 진우등은 이전의 시기와 비교해 볼 때 변화를 보이지 않고 을숙도의 남측이 계속해서 발달하여 백합등쪽으로 성장하고 있다. 1986년 제작된 지형도(국립지리원)에는 장자등의 남측에 새등(신자등)이 나타나고, 백합등의 남쪽으로 나무싯등이 나타나 백합등과 서측부분이 연결된다. 서낙동강 남쪽에 형성된 진우등 아래쪽으로는 더 이상 새로운 사주의 형성이 이루어지지 않는다. 1988년 제작된 지형도(국립지리원)에서는 나무싯등 아래에 새등이 나타나 있다(반, 1995).

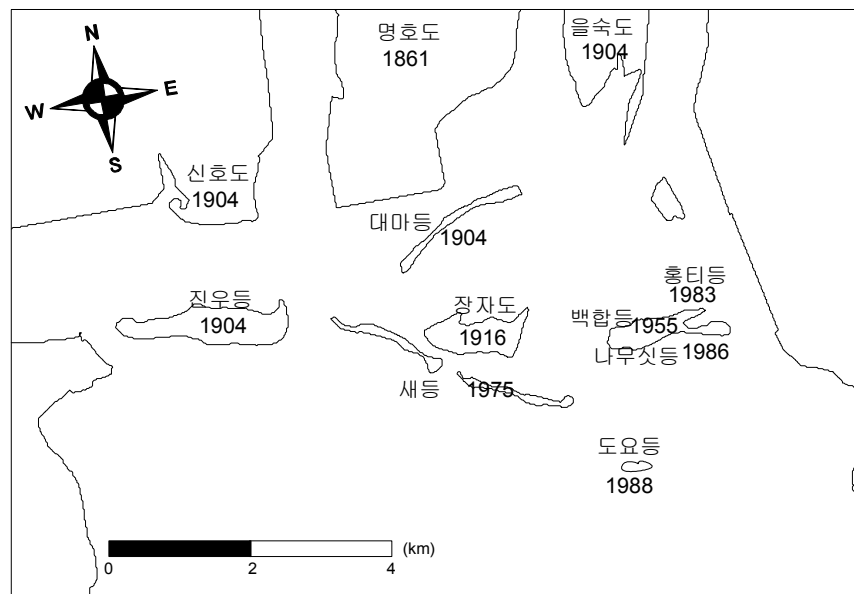


Fig. 4.6 History of Delta formation at the estuary of Nakdong river



Fig. 4.7 Satellite data for the estuary of Nakdong river (1988, 2000)

Fig. 4.7의 위성사진에서는 신호도하단과 명호도하단이 매립되어 있고, 새등 일대와 다대포일대의 표사량이 증대했음을 알 수 있다(최, 2002).

낙동강 삼각주 전면을 구성하는 사주군은 낙동강이 남해로 유입하는 세가지의 유로를 따라 신호도와 명호도, 을숙도 남단에서 외해쪽으로 발달해 왔다. 낙동강 하구언이 건설된 이후에는 을숙도의 남쪽과 다대포 해안에 새로운 지형이 형성되고 있다. 이것은 하구언의 건설과 하천 준설공사로 조류의 흐름과 퇴적물의 이동에 변화가 일어나 새로운 퇴적양상을 이루고 있음을 지시한다(김, 2000). 확산모델을 사용한 낙동강 하구에서의 부유하중 거동에 관한 연구에 따르면 진우등과 대마등 부근의 유속이 약해져 상류로부터 유입하는 부유상태의 퇴적물이 다대포 연안으로 이동하는 것으로 계산되었다(김등, 1995).

2) 모델구성

낙동강 하구 지역은 부산항 3단계 개발사업 파랑해석 조사보고서(1984), 전국항만설계파 추산보고서(1988)에 의하면 동계에는 SE 파향이 우세하고, 하계에는 S10W의 파향이 우세하다.

이들 자료로부터 S10W 파향과 SE 파향에 대하여 파고와 주기를 동일하게 각각 3.0m, 10s로 하여 방포향과 같이 평균고조위와 평균저조위에서의 입사파랑에 대한 수치실험을 실시하였다. 계산은 7.2×16.3km의 계산 영역에 대하여 $\Delta x = \Delta y = 20\text{m}$ 의 격자로 구성하고 비교적 광범위한 영역에서의 변화를 시뮬레이션 하였다.

Table. 4.3 Characteristics of Nakdong river's estuary

Mean sea level	Mean tidal range	Structure	Inflow of fresh water	Grid spacing
(+)0.95m	1.0m	×	○	$\Delta x = \Delta y = 20\text{m}$

Table. 4.4 Incident wave characteristics at Nakdong river's estuary

Season	Wave height	Wave period	Wave direction
Summer	3.0m	10.0	S10W
Winter	3.0m	10.0	SE

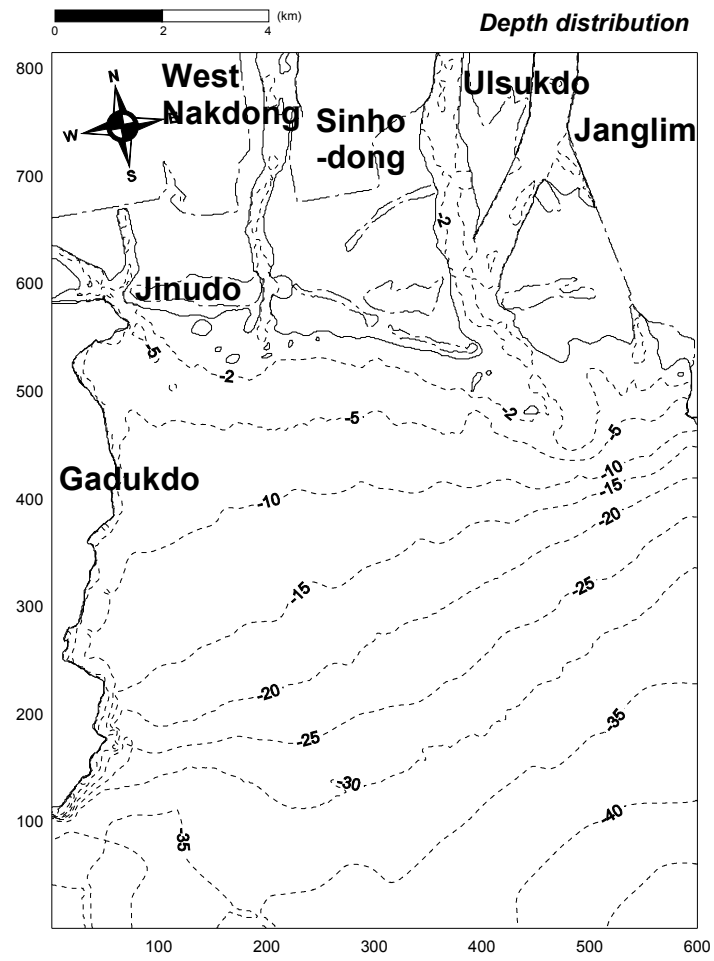


Fig. 4.8 Depth for the estuary of Nakdong River

제5장 수치실험 및 분석

본 절에서는 전 절에서 언급한 수치실험 대상역에서의 파랑장, 해빈류장 및 해저지형 변화에 대해서 구축한 모델을 통해 수치실험을 행하고 출력된 자료를 실제 현상과 결부하여 분석하기로 한다.

표사이동과 해저지형변형을 실제 현상과 결부하기 위해서는 장기간의 관측 기록을 확보하고 최근 변화되는 양상을 충분히 분석하여 지질학적인 측면과 공학적인 측면을 동시에 고려하여야만 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

5.1 조위의 변화가 심한 경우

5.1.1 파랑장

Fig. 5.1~5.4는 입사파의 각 대표 파향별 파향의 분포를 파고의 크기로 나타낸 것으로 각 방향별로 파랑이 비교적 평행하게 입사하고 있으나 방포항 인 접해역에서는 천수변형에 의해 비교적 복잡한 파향의 변화를 나타낸다. 평균 고조시(M.H.W.L.)에는 파고가 해안선 가까이까지 높게 유지하고 있으며, 평균 저조시(M.L.W.L.)에는 쇄파대가 해안선에서 비교적 떨어진 외해에서 형성되기 때문에 해안선 가까이에서는 파고의 크기가 작은 것을 알 수 있다.

대체적으로 쇄파대는 수심 3.5m 지점 전후에 위치하는 것으로 나타났다.

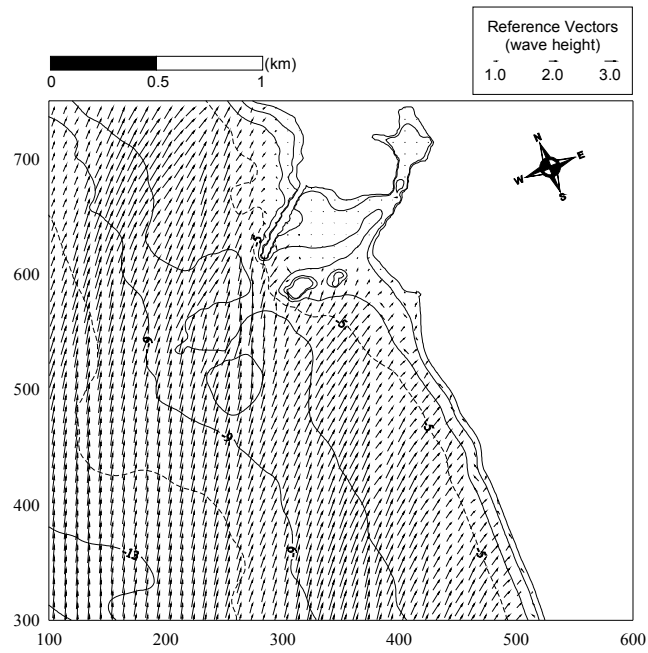


Fig. 5.1 Wave angle and height at M.H.W.L.(SSW)

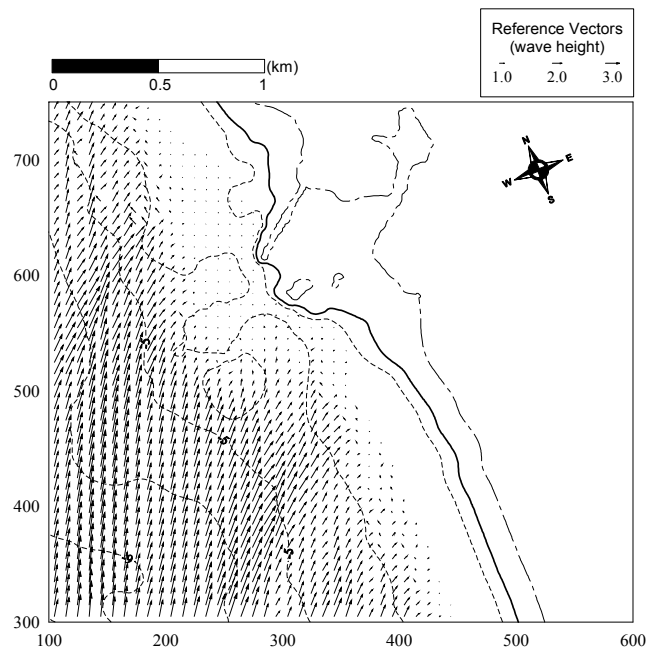


Fig. 5.2 Wave angle and height at M.L.W.L.(SSW)

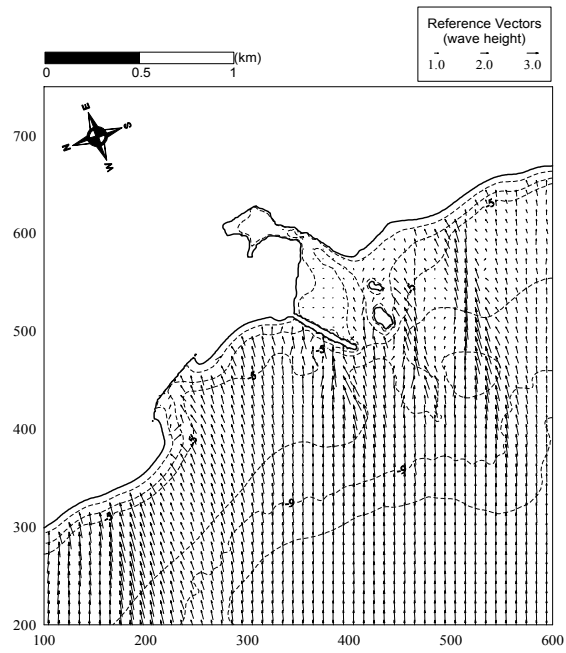


Fig. 5.3 Wave angle and height at M.H.W.L.(WNW)

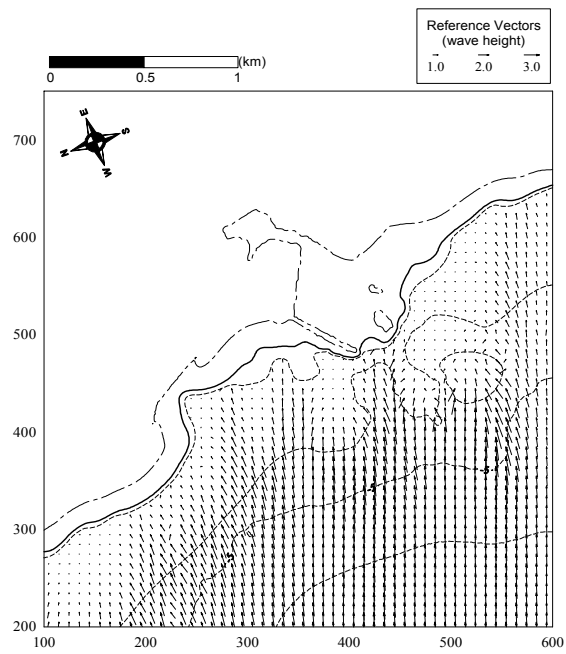


Fig. 5.4 Wave angle and height at M.L.W.L.(WNW)

5.1.2 해빈류장

하계 SSW방향의 특징은 고파랑으로 인한 북측의 강한 연안류가 형성되는 것을 들 수 있다. Fig. 5.5~5.6에서와 같이 꽃지해수욕장을 북상하는 연안류가 할매, 할배 바위를 반시계 방향으로 순환하고 북측의 방포해수욕장에서 남측으로 내려오는 연안류와 북측으로 올라가는 연안류가 방파제의 외측까지 이르러 두 연안류의 상호작용에 의해 국부적인 이안류를 생성시키는 경향을 나타낸다. 따라서 이 강한 연안류가 방포항 주변의 퇴적물을 이동시켜 항내로 유입시킬 가능성이 큰 것으로 예상된다.

동계 고조시 WNW방향의 실험에서는 Fig. 5.7과 같이 방포해수욕장 부근의 해빈류가 강하게 나타나 방포 해수욕장의 모래를 방포항 주변까지 이동시킬 우려가 있으나 그림에서 알 수 있듯이 방포항 북측의 방파제로 인해서 와가 형성되므로 방파제 북측의 외단에서 모래가 퇴적 될 가능성이 높다.

한편 저조시(Fig. 5.8)에는 방포항 입구 외측에 강한 연안류가 발생되어 항 입구 외측의 모래를 남측으로 이동시키게 됨을 알 수 있다.

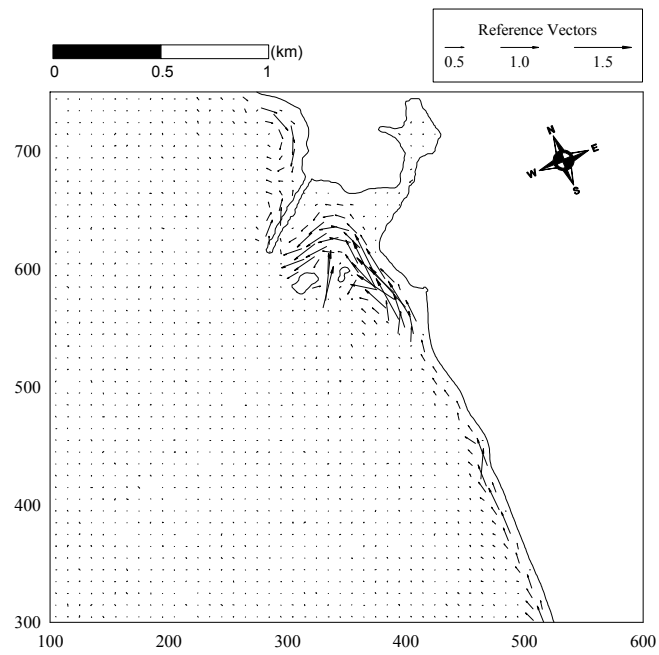


Fig. 5.5 Nearshore current at M.H.W.L.(SSW)

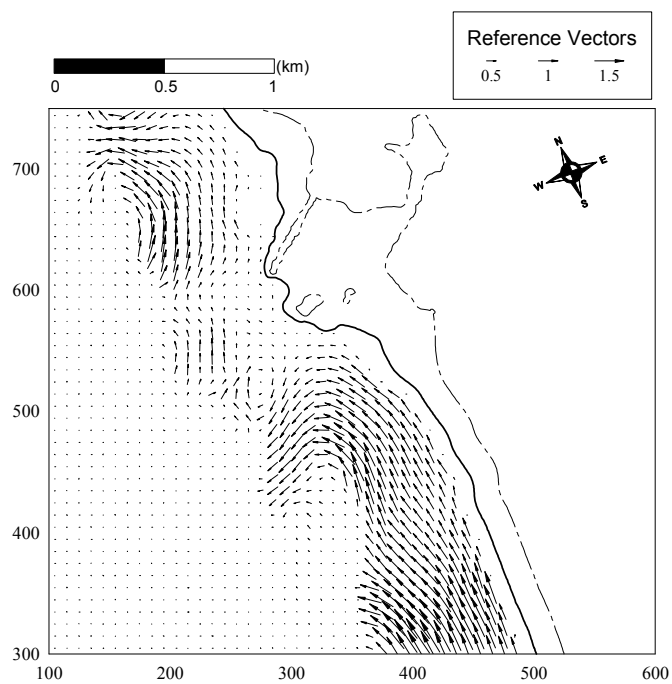


Fig. 5.6 Nearshore current at M.L.W.L.(SSW)

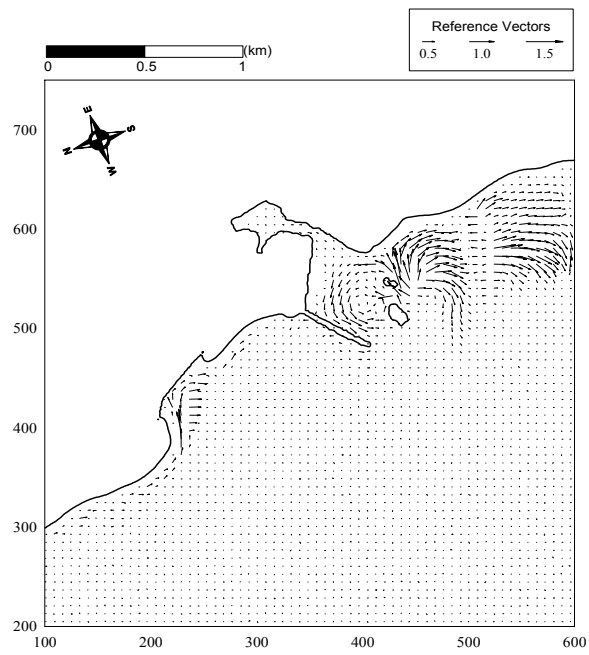


Fig. 5.7 Nearshore current at M.H.W.L.(WNW)

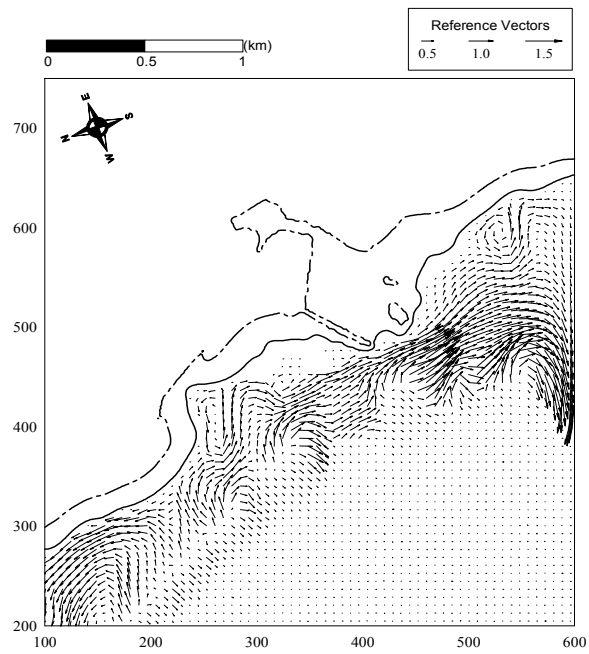


Fig. 5.8 Nearshore current at M.L.W.L.(WNW)

5.1.3 표사와 해저지형 변화

대상지역에서 고조시에는 수심의 증가로 인하여 쇄파대가 해안쪽으로 전진하게 되고 파랑이 해안 가까이 입사해 들어오게 된다. 따라서, 연안류도 역시 해안 가까이에서 형성되어 표사의 이동이 해안에서 그다지 멀지 않은 곳에서 형성된다. 따라서 이 강한 연안류로 인해서 표사의 이동을 예상 할 수 있는데, 표사의 이동은 이와 같은 강한 연안류로 인하여 발생할 것으로 예상되는데 시뮬레이션 결과에서도 방포항의 남단에서 북단으로 북상하는 강한 해빈류와 파랑에 의해 표사가 이동하여 방포항 남단에서 표사가 퇴적되는 것으로 나타났다(Fig. 5.9 및 Fig. 5.11 참조).

저조위(Fig. 5.10 및 Fig. 5.12)에서는 항 전체가 수면에 노출되어 방포항과 무관한 해역에서 고파랑시 연안류와 이로인한 침식 및 퇴적현상을 나타내고 있는데, 쇄파대도 역시 후퇴하며 고조위에 비하여 저면지형변화의 폭이 비교적 넓은 것을 알 수 있다.

Fig. 5.13~5.16으로 고조와 저조시에 2m와 5m의 수심별 해저지형 변화를 나타냈고, Fig. 5.17~5.20에서는 고조와 저조시에 각 입사파향별 지형변화를 나타낸 그림이다. 고조시 방포항 주변역에서는 침식의 경향이 강하고 그래프의 중앙부분인 방포항의 입구 부근에서는 퇴적의 경향이 강한 것을 알 수 있다. 이는 방포항의 양쪽에 있는 해수욕장들의 사빈이 침식되어 방포항 입구로 와서 퇴적됨을 보여준다.

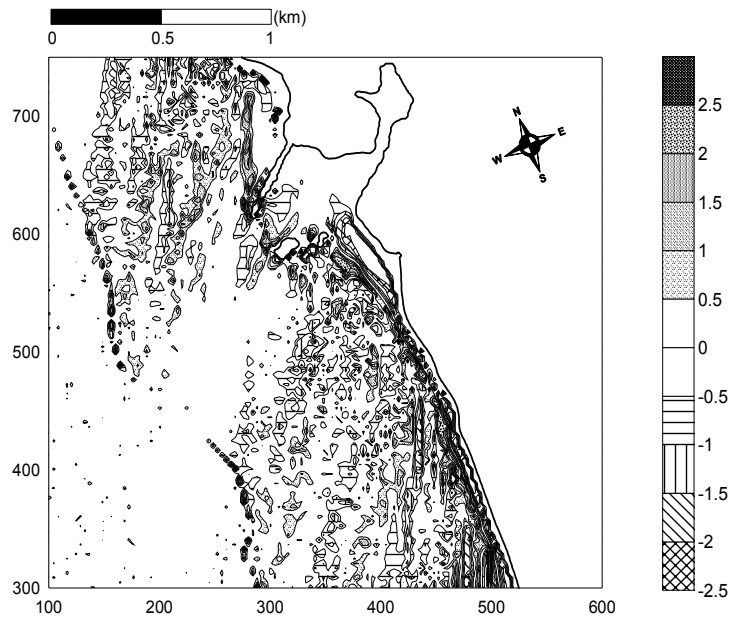


Fig. 5.9 Bottom changes at M.H.W.L.(SSW)

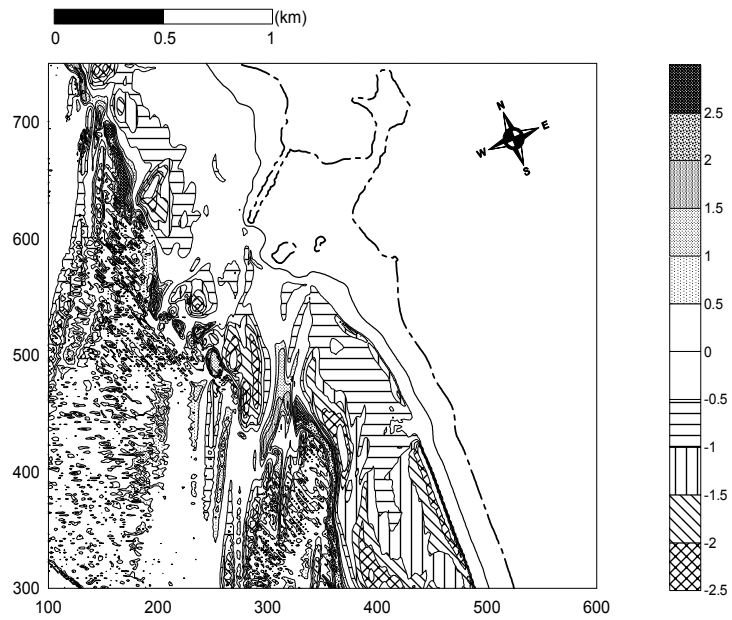


Fig. 5.10 Bottom changes at M.L.W.L.(SSW)

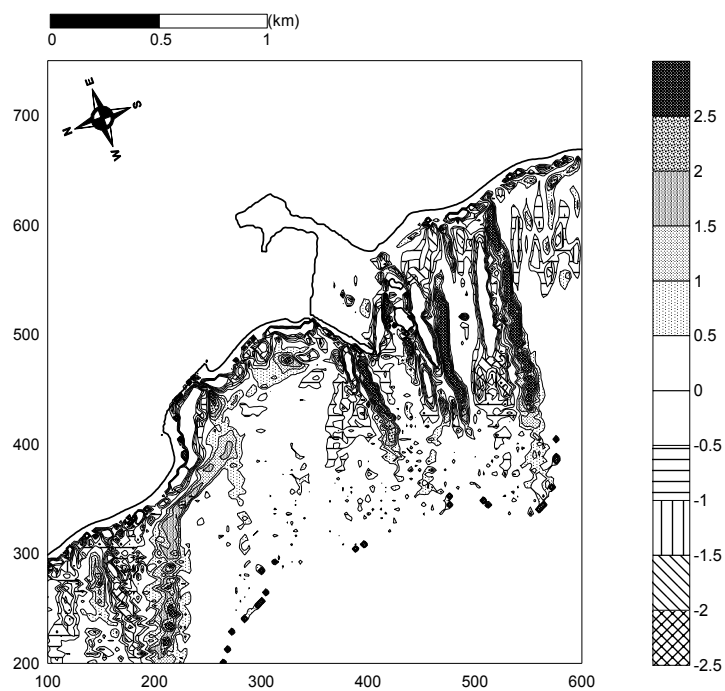


Fig. 5.11 Bottom changes at M.H.W.L.(WNW)

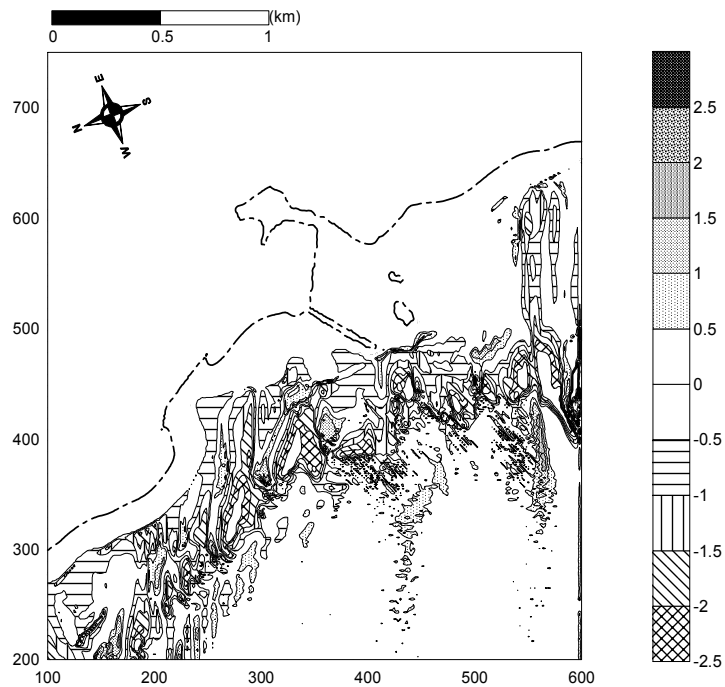


Fig. 5.12 Bottom changes at M.L.W.L.(WNW)

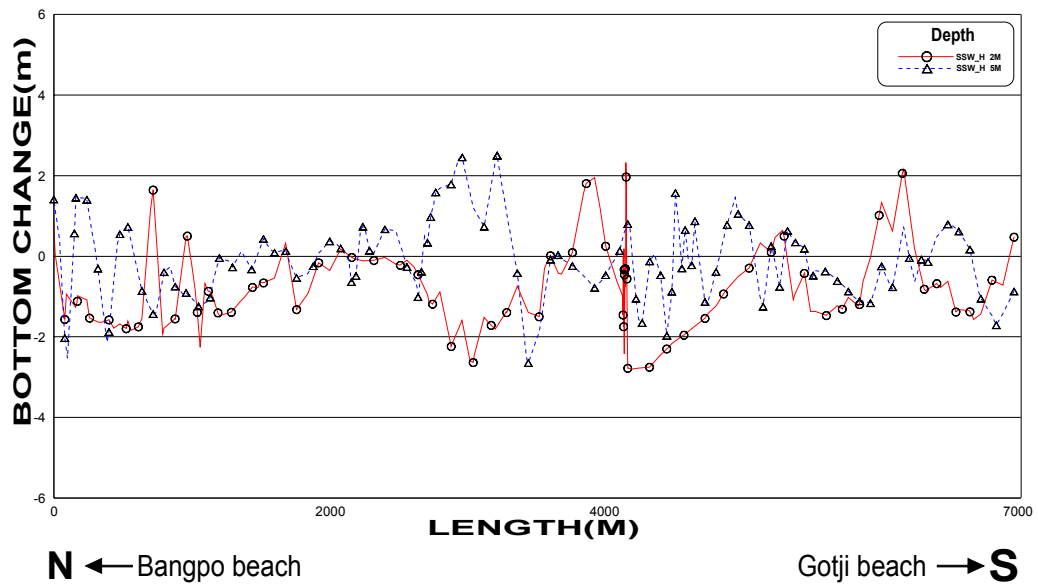


Fig. 5.13 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth
(SSW, M.H.W.L.)

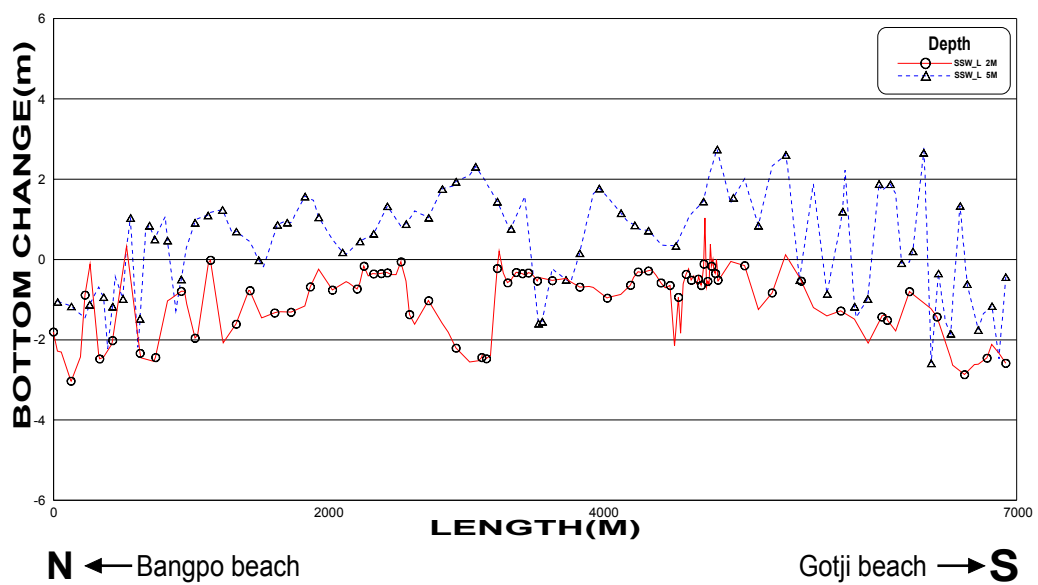


Fig. 5.14 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth
(SSW, M.L.W.L.)

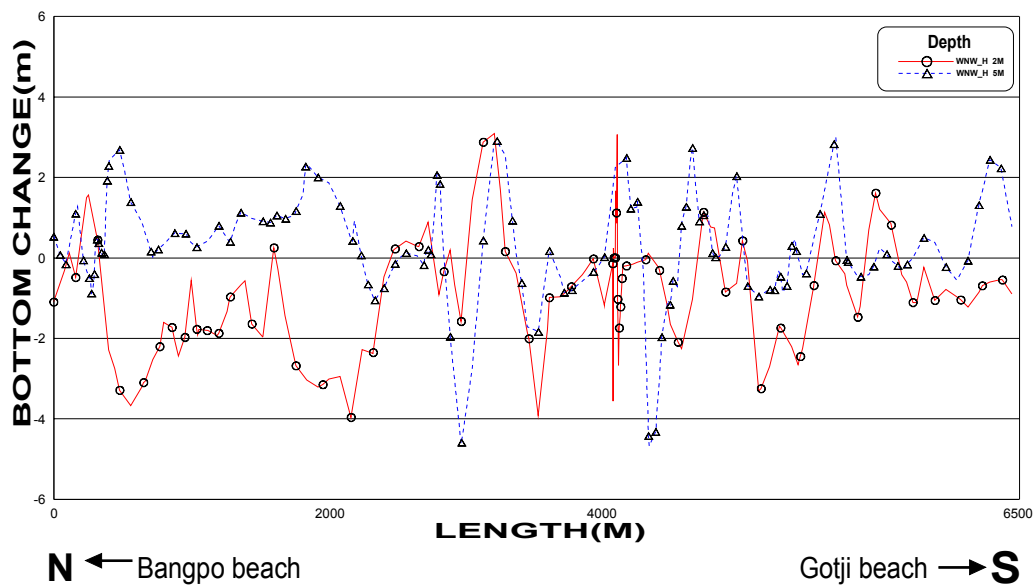


Fig. 5.15 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth
(WNW, M.H.W.L.)

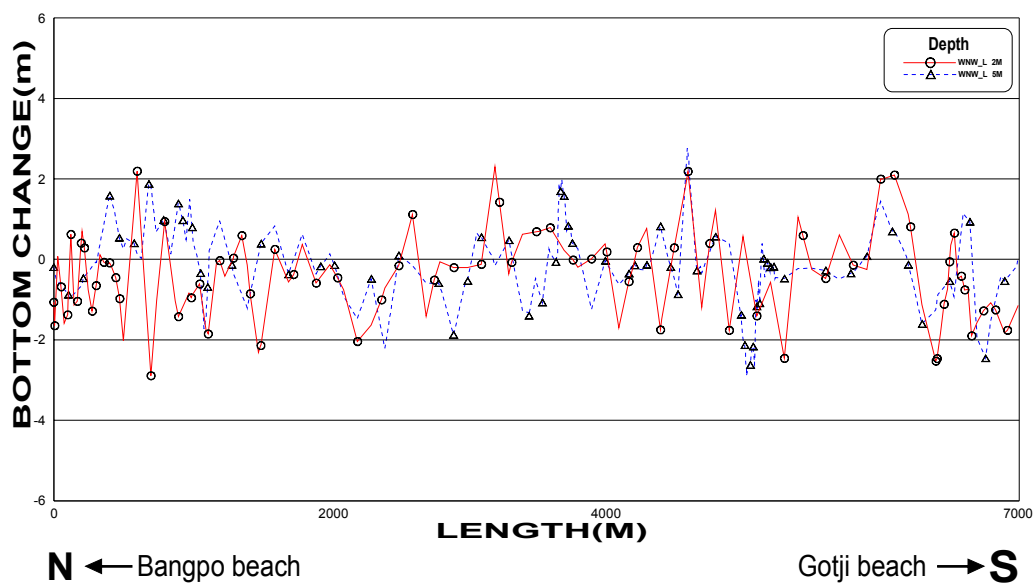


Fig. 5.16 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth
(WNW, M.L.W.L.)

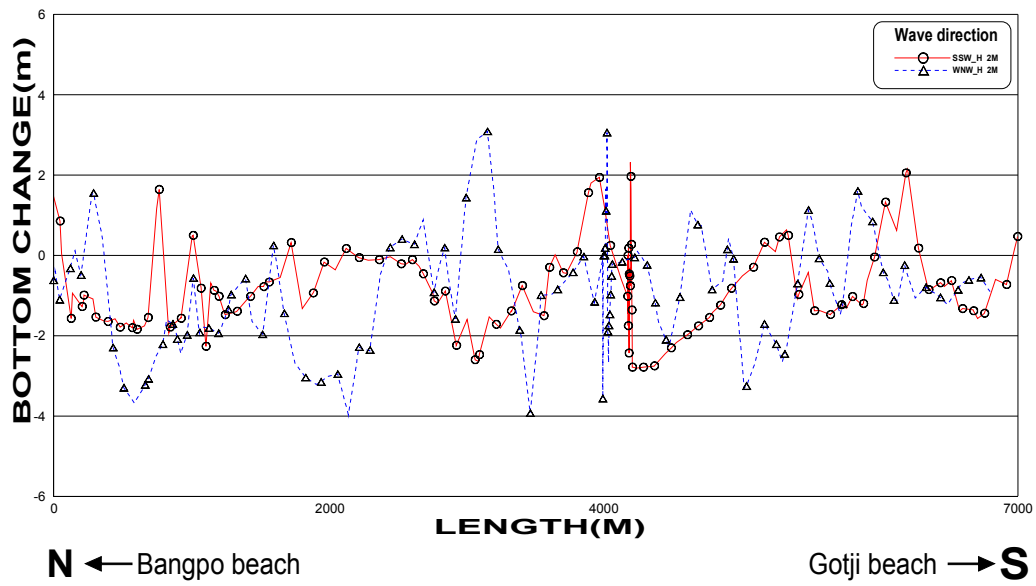


Fig. 5.17 Comparison of bottom change between SSW and WNW
(2m, M.H.W.L.)

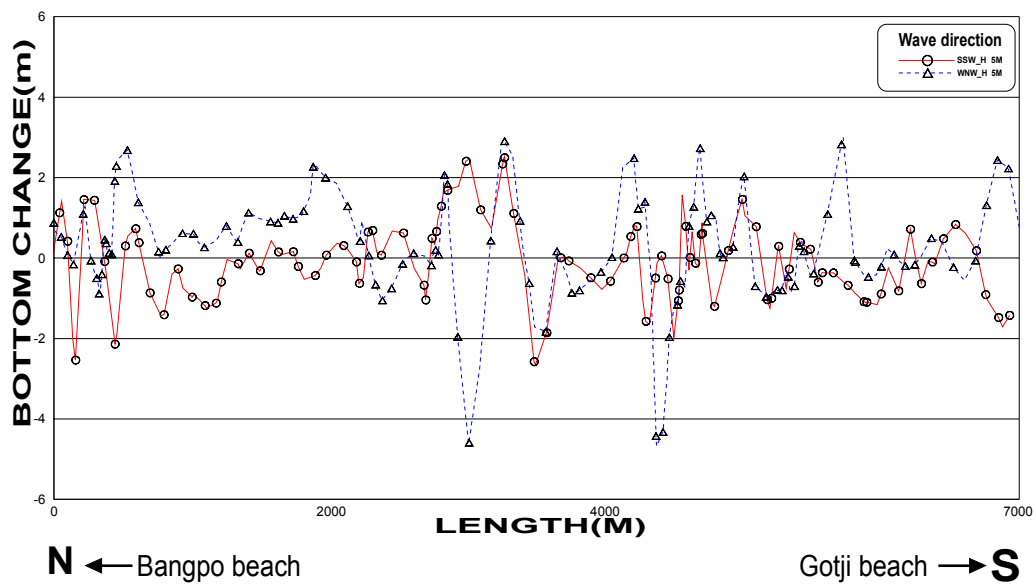


Fig. 5.18 Comparison of bottom change between SSW and WNW
(5m, M.H.W.L.)

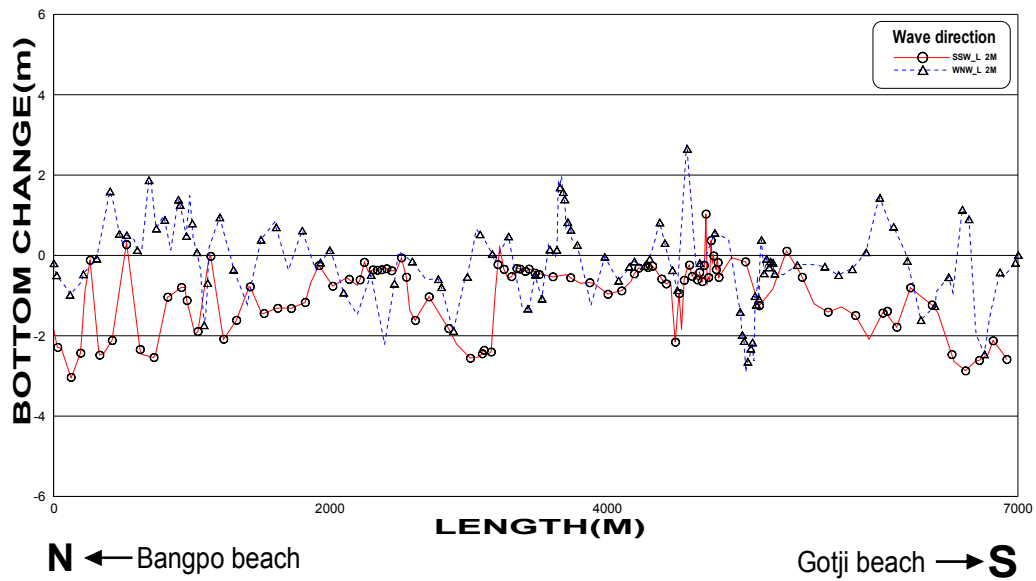


Fig. 5.19 Comparison of bottom change between SSW and WNW
(2m, M.L.W.L.)

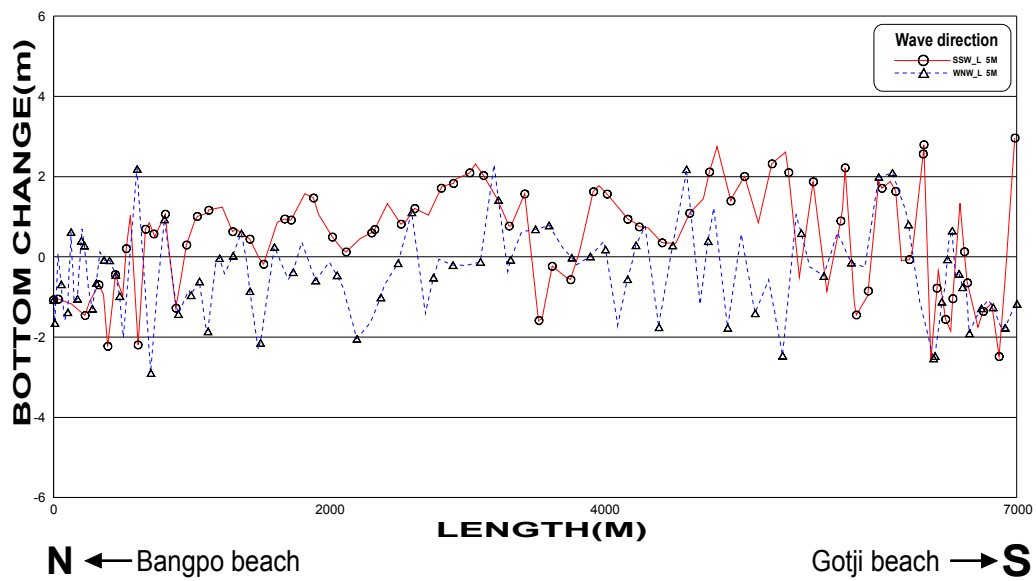


Fig. 5.20 Comparison of bottom change between SSW and WNW
(5m, M.L.W.L.)

해안에서 외해로의 단면에 대한 해저지형변화를 알아보기 위해서 다음 Fig. 5.21과 같이 절단한 단면에 대해 그 결과를 Fig. 5.22~5.27에 나타내었다. 방포해수욕장과 꽃지해수욕장 전면에서는 해안선으로부터 약 200m 지점까지 계속하여 침식의 경향이 강한 것을 알 수 있으며, 방포항에서는 SSW 방향의 파랑 입사시에 항내에서는 그다지 큰 변화가 없었다. 그러나 항입구 부근으로 갈수록 퇴적이 많이 일어나 입구에서 항로 폐색이 나타나고 있으며, WNW 방향의 파랑이 입사할 경우에는 고조시에 항내까지 일부 퇴적을 나타내고 있음을 알 수 있다.

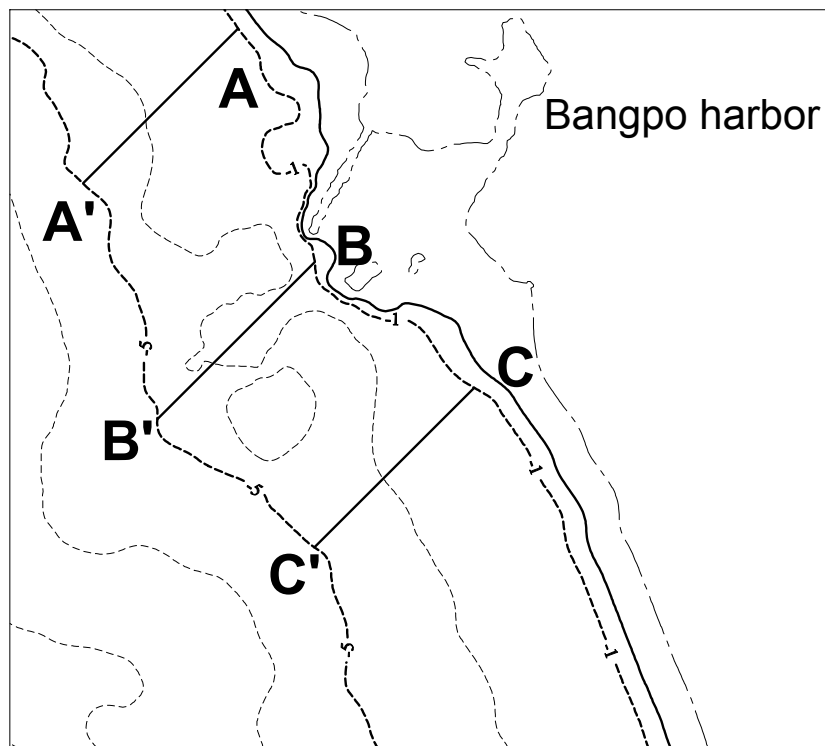


Fig. 5.21 Cross sections for the analysis of bottom change

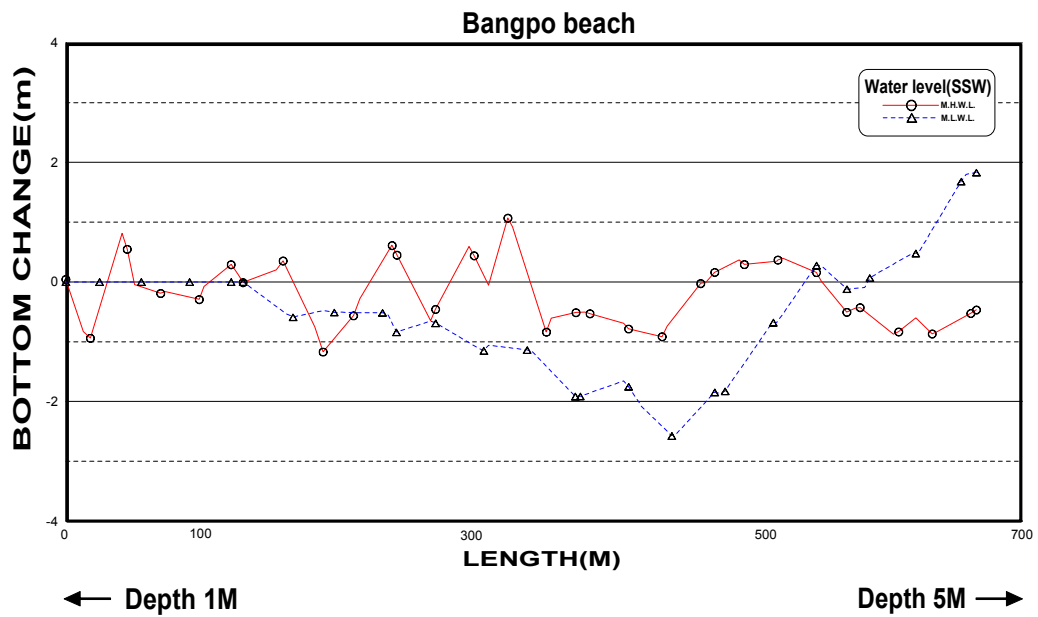


Fig. 5.22 Bottom changes at AA' cross section(SSW)

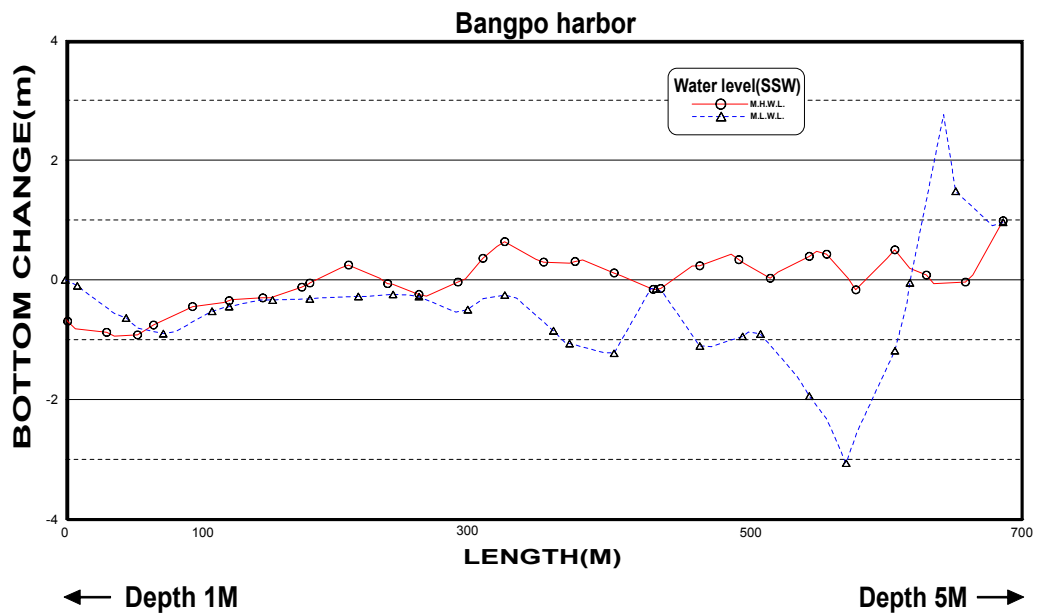


Fig. 5.23 Bottom changes at BB' cross section(SSW)

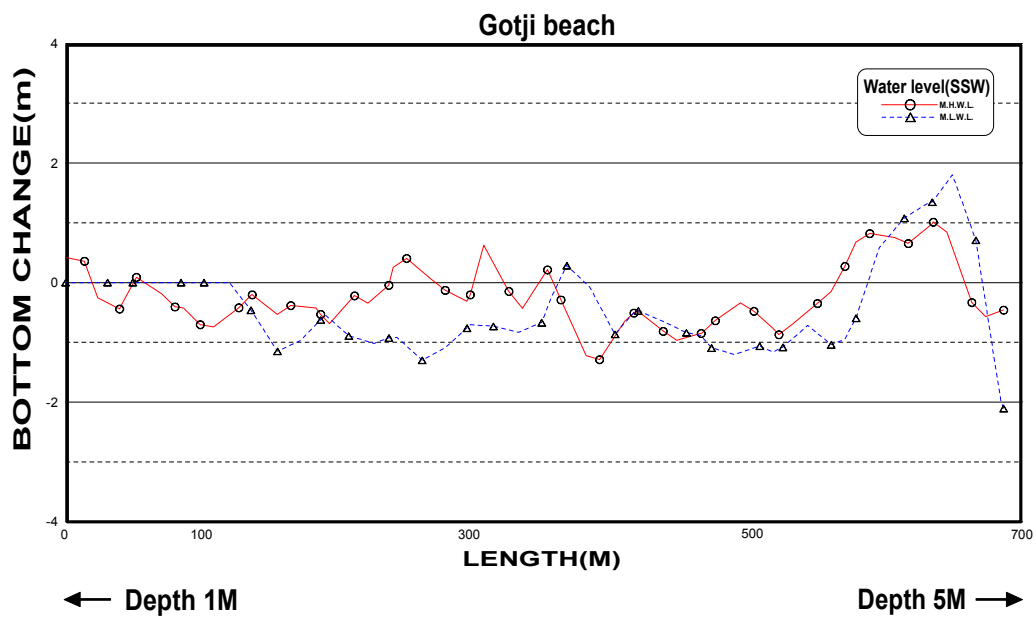


Fig. 5.24 Bottom changes at CC' cross section(SSW)

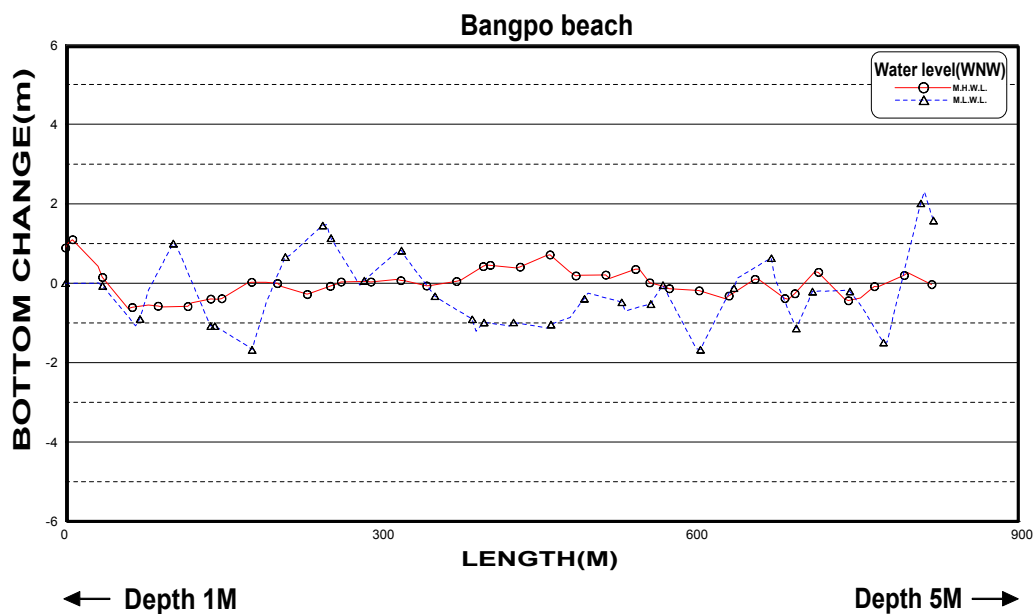


Fig. 5.25 Bottom changes at AA' cross section(WNW)

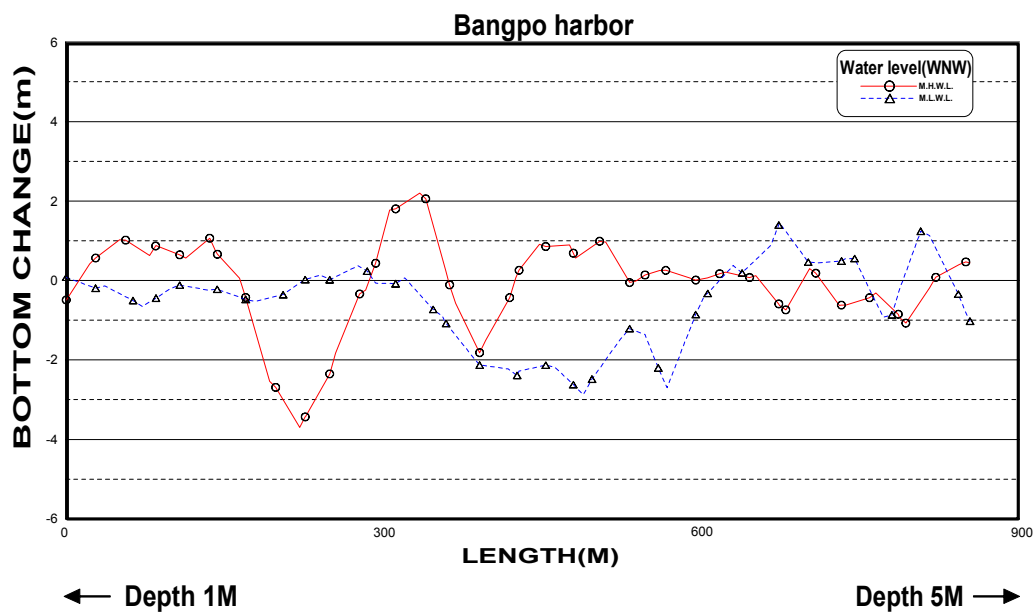


Fig. 5.26 Bottom changes at BB' cross section(WNW)

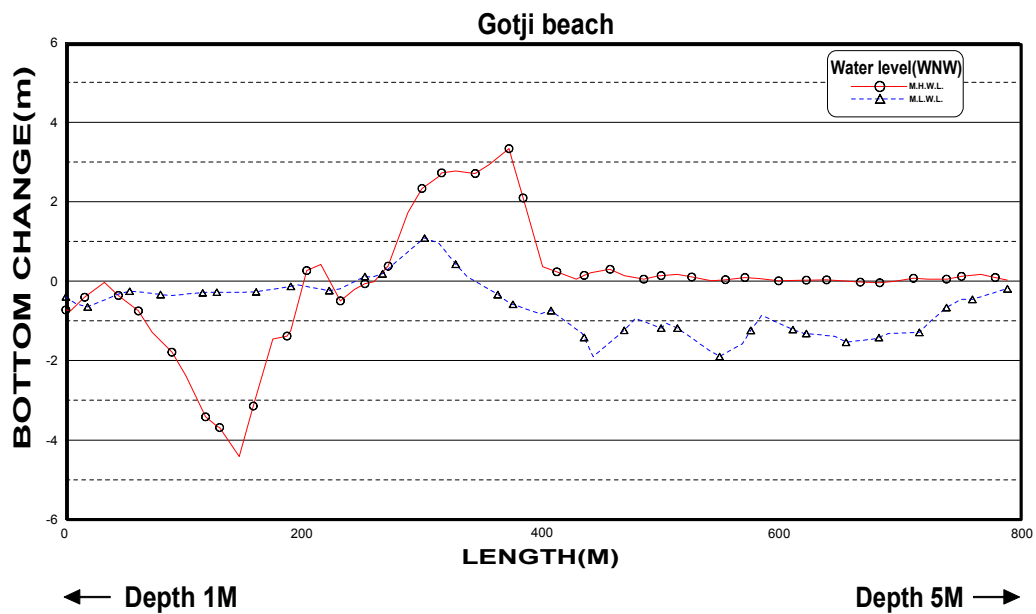


Fig. 5.27 Bottom changes at CC' cross section(WNW)

5.2 조위의 변화가 미약할 경우

5.2.1 파랑장

낙동강 하구역은 서측으로 가덕도, 동측으로는 물운말로 인해 수심이 얇은 만의 형상을 가지고 있고, 낙동강은 삼각주에 의해 매우 복잡한 형상을 가지고 있어서 파랑은 외해에서 일정한 방향으로 전파되어 들어오지만 썰파대 근처와 낙동강과 연안이 만나는 지역에서는 복잡한 수로가 형성되어 파랑의 분포 또한 복잡한 형상을 가진다. 파랑의 진행 양상은 진우등, 대마등의 섬들의 자연구조물적인 형상으로 인해 제약을 받아 미약하게 된 것으로 판단된다. Fig. 5.28에서 나타낸 바와 같이 S10W방향에 고조시 파랑이 입사할 경우 낙동강의 안쪽까지 상당량의 파랑이 낙동강 수로에 까지 전파되는 것으로 나타났다. Fig. 5.30에서는 SE 방향의 파랑이 입사할 때에 고·저조위시 동일하게 해수의 침입이 상대적으로 약한 것을 알 수 있었다. 두 방향 모두 저조시(Fig. 5.29 및 Fig. 5.31)에서는 썰파대의 이동이 거의 없이 삼각주에 인접한 해역에서 썰파대가 형성됨을 알 수 있고, 썰파대 위치는 약 3m 수심에 이루어지는 것을 알 수 있다.

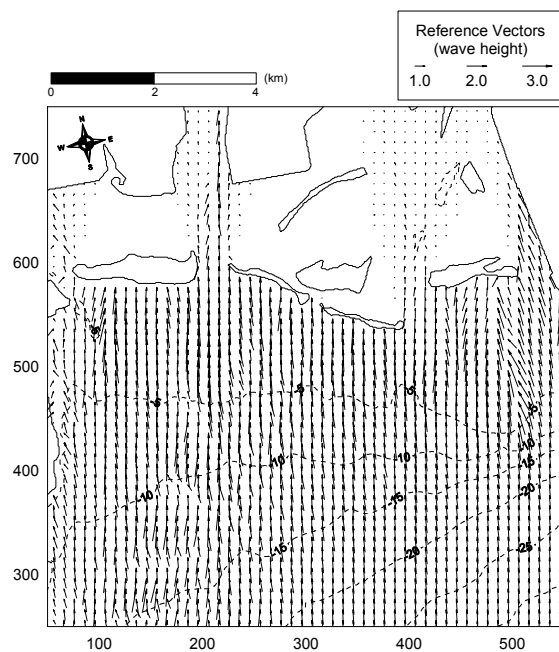


Fig. 5.28 Wave angle and height at M.H.W.L.(S10W)

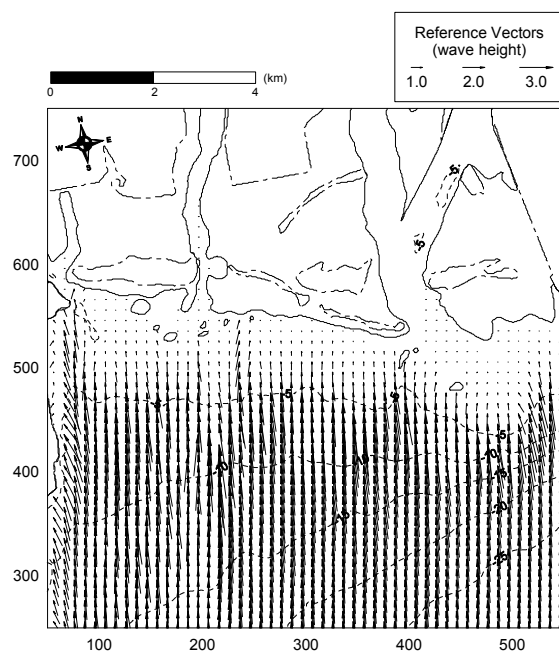


Fig. 5.29 Wave angle and height at M.L.W.L.(S10W)

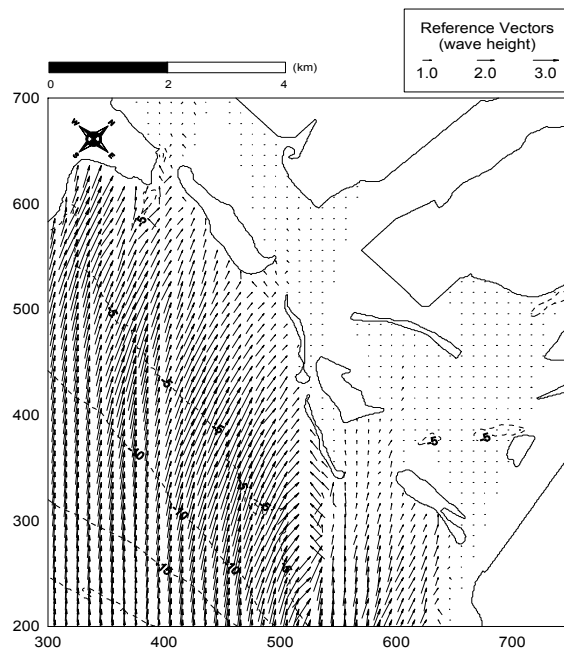


Fig. 5.30 Wave angle and height at M.H.W.L.(SE)

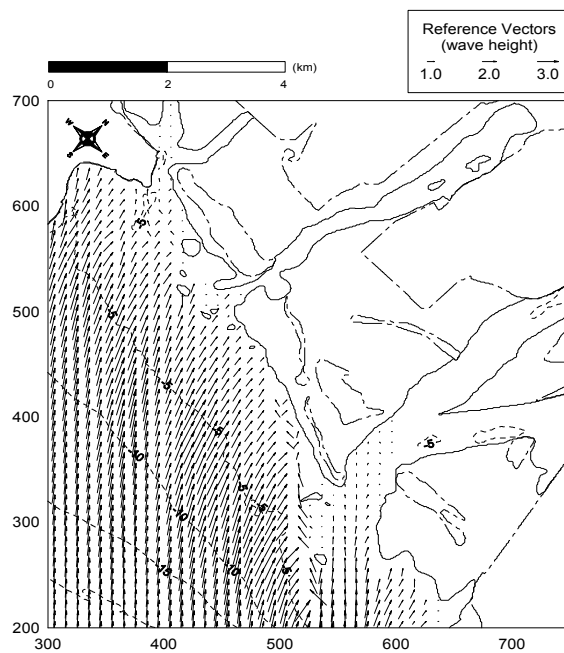


Fig. 5.31 Wave angle and height at M.L.W.L.(SE)

5.2.2 해빈류장

낙동강 하구역에서의 특징은 전반적으로 약한 해빈류의 형성을 들 수 있다. 해빈류 백터를 나타낸 Fig. 5.32~Fig. 5.35에서와 같이 방포항에 비하여 유속의 값이 매우 작다. 따라서 해빈류 즉, 흐름에 의한 표사의 이동이 파랑에 의한 이동보다 상대적으로 낮은 비율로 이동된다는 것을 의미한다.

대상 지역의 S10W 방향의 파랑이 내습하게 되면 고조위시(Fig. 5.32)에는 진우등과 새등 사이에서, 저조위시(Fig. 5.33)에는 새등과 백합등 사이에서 다른 지역보다 상대적으로 강한 연안류가 발생되지만, 이들의 크기가 작아 표사의 이동량은 비교적 적을 것으로 예상된다.

또한 SE 방향의 파랑에 의한 해빈류(Fig. 5.34 및 Fig. 5.35)에서도 유사한 흐름의 패턴을 가지므로, 이는 낙동강 하구의 퇴적현상은 파향에 그다지 영향을 받지 않음을 의미한다.

다만, 해빈류 백터의 분포가 전반적으로 고르게 넓은 지역에 걸쳐 있고, 삼각주 하단에서 저조위시에 해빈류의 흐름이 고조위 보다 활발하므로 저조위시에 더 많은 이동이 예상된다고 할 수 있으나 방포항보다는 크게 차이가 난다. Fig. 5.35에서 보는 바와 같이 백합등의 동남쪽인 다대포 지역에서는 다소 강한 흐름을 보이므로, 이 지역의 지형 변화가 예상된다.

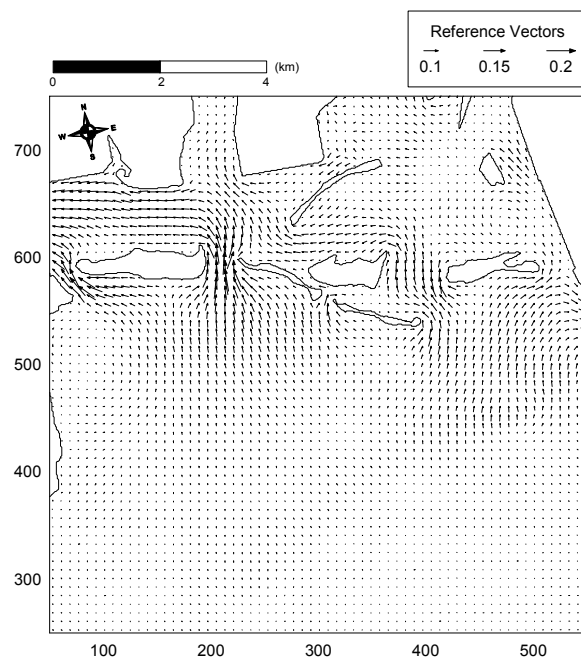


Fig. 5.32 Nearshore current at M.H.W.L.(S10W)

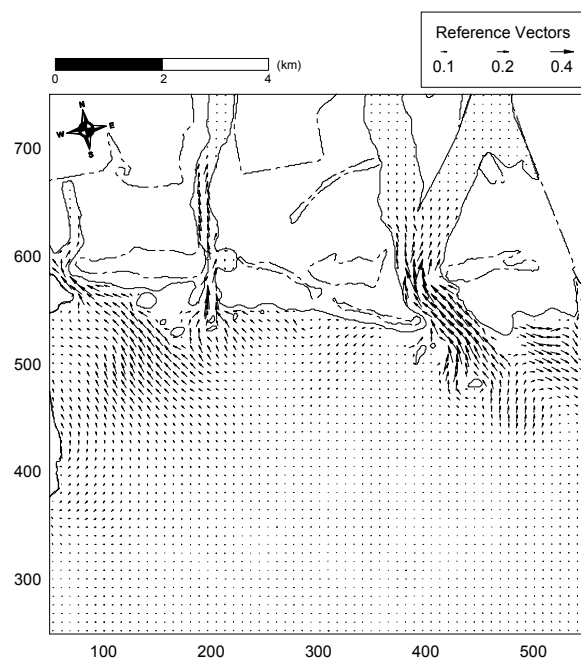


Fig. 5.33 Nearshore current at M.L.W.L.(S10W)

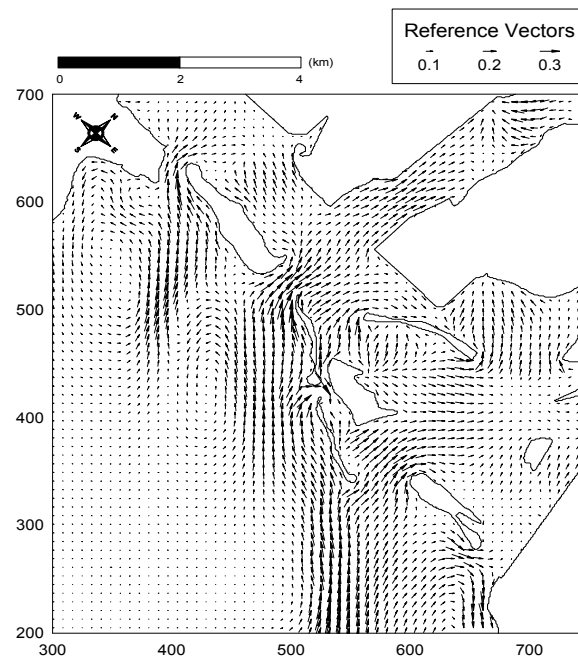


Fig. 5.34 Nearshore current at M.H.W.L.(SE)

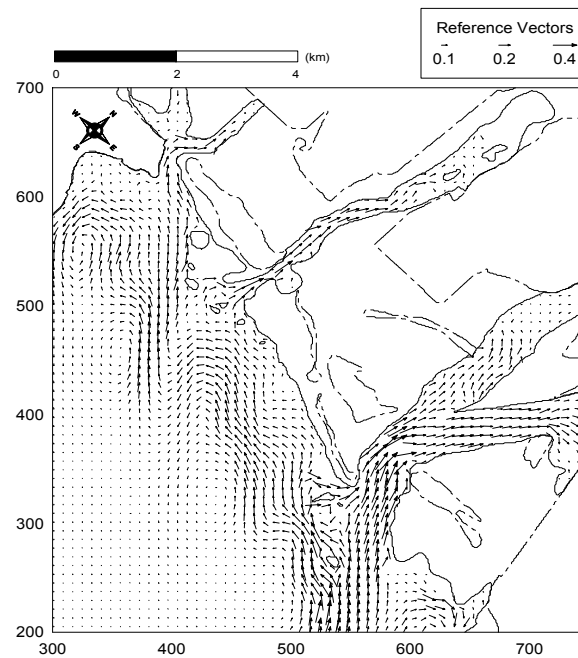


Fig. 5.35 Nearshore current at M.L.W.L.(SE)

5.2.3 표사와 해저지형 변화

낙동강 하구역의 퇴적 특징으로 하구 전면의 넓은 범위에 걸쳐 수심의 변화가 일어난다는 것을 들 수 있다. 이는 하구에 접근할수록 수심의 경사가 작으며, 이로 인해 쇄파대가 비교적 외해에 형성되어서 지형변화의 공간적인 폭이 넓기 때문이라 하겠다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 해빈류의 크기는 비교적 작아서 지형의 변화가 그리 크지 않을 것으로 예상된다.

파랑장과 해빈류장의 시뮬레이션에서와 같이 파와 흐름에 의해 진우등 신자등, 백합등 전면에 걸쳐 수심의 변화가 예상되었다. 고조시에는 해빈류가 진우등과 신자등 사이에서 흐름이 강해지고 쇄파대가 비교적 삼각주에 근접하여 형성되며, 저조시에도 조석의 영향이 미약하여 쇄파대의 후퇴가 그다지 두드러지지 않아, 하구의 전면에서 퇴적 및 침식 현상을 반복하는 것으로 나타났다. 다만 Fig. 5.36과 Fig. 5.37에서 알 수 있듯이 고조에 비해 저조위시 지형의 변화가 공간적으로 넓게 나타나며 특히, 가덕도 동쪽에서는 지형의 변화가 두드러짐을 알 수 있다. 실제로 현장조사의 결과에서도 진우등 하단부에 “속등”이라는 등이 새롭게 계속해서 발달해 가고 있는 것으로 파악되었다. 이는 Fig. 5.40~5.43의 그래프와 같이 2m 및 5m 수심에 대한 지형변화에서 비교적 고조위와 저조위의 균형이 이루어지고 있지만, 고조위시와 파향이 SE일 때에 퇴적의 경향이 높고, 저조위시와 파향이 S10E에는 상대적으로 침식의 경향이 강한 것으로 나타났다. 또한 백합등 아래 지역, 즉 그래프의 오른쪽에서 퇴적의 정도가 높게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이것이 다대포 지역의 퇴적변화에도 영향을 미칠 것으로 사료된다. 이 경향은 다대포 일대의 해빈의 변화에 대한 연구(김,2000)에서도 나타났다.

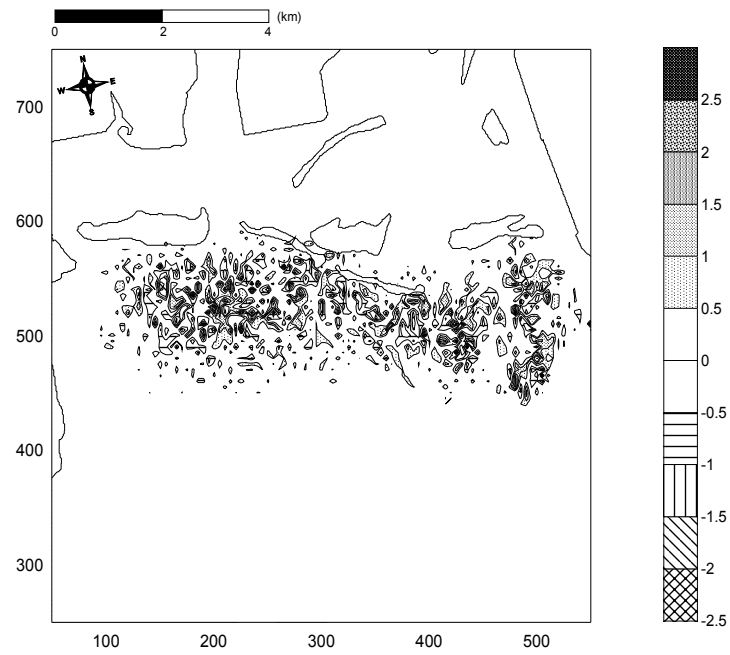


Fig. 5.36 Bottom changes at M.H.W.L.(S10W)

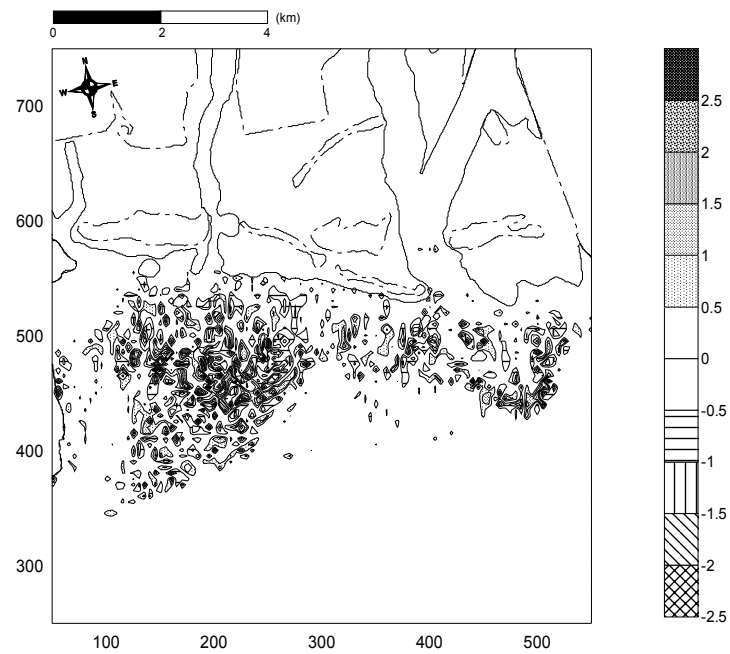


Fig. 5.37 Bottom changes at M.L.W.L.(S10W)

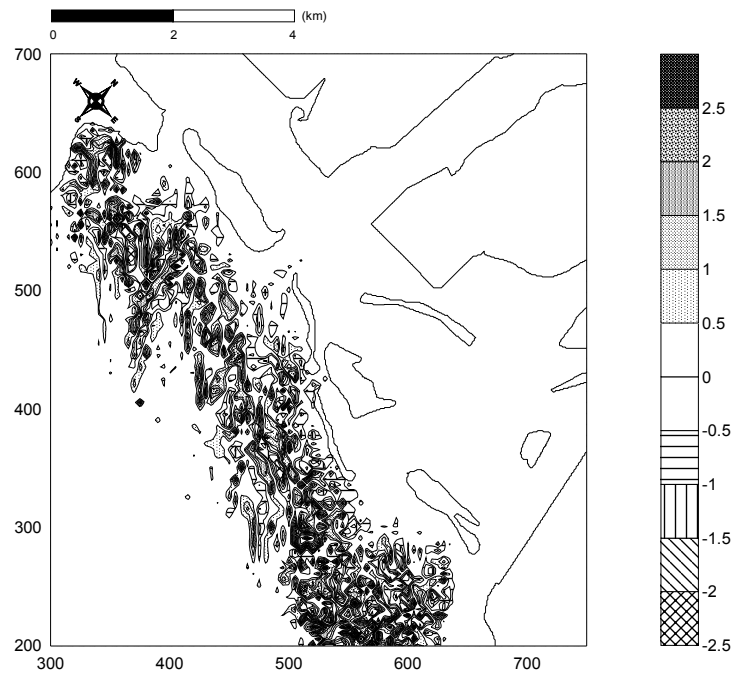


Fig. 5.38 Bottom changes at M.H.W.L.(SE)

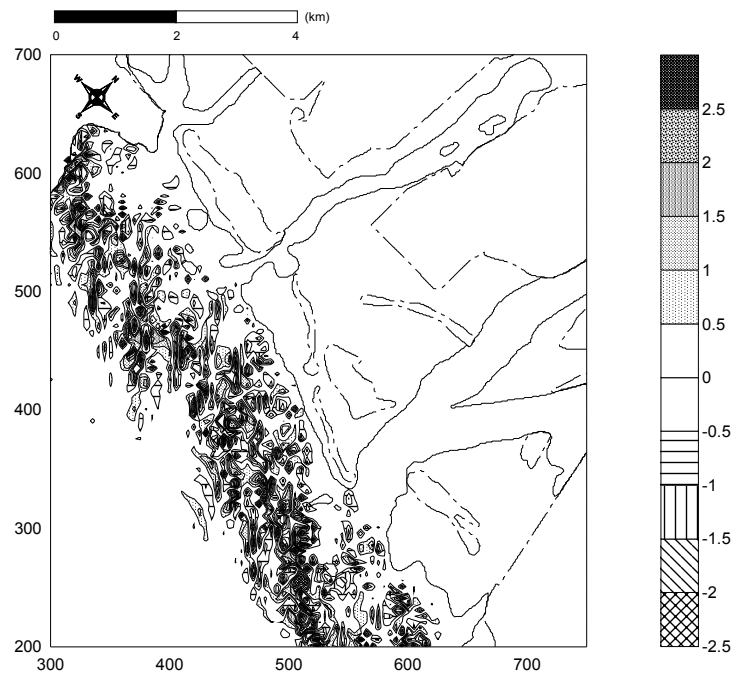


Fig. 5.39 Bottom changes at M.L.W.L.(SE)

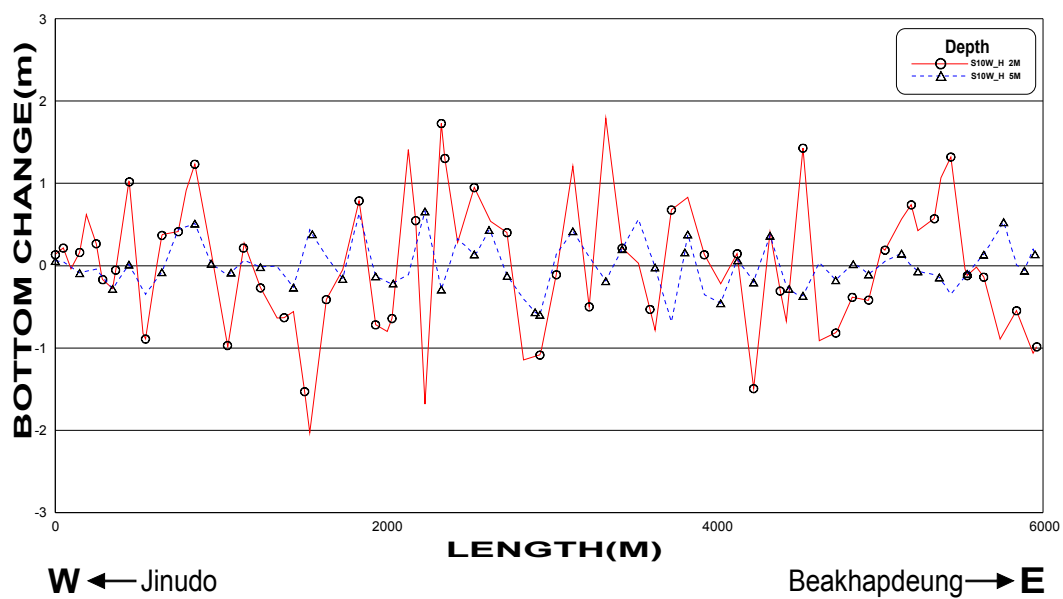


Fig. 5.40 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth
(S10W, M.H.W.L.)

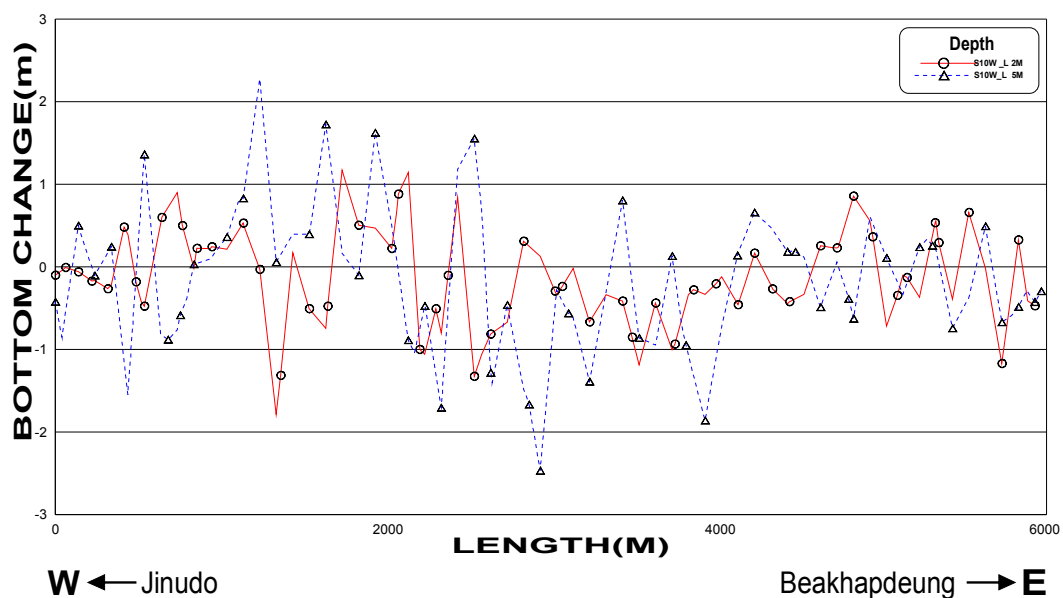


Fig. 5.41 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth
(S10W, M.L.W.L.)

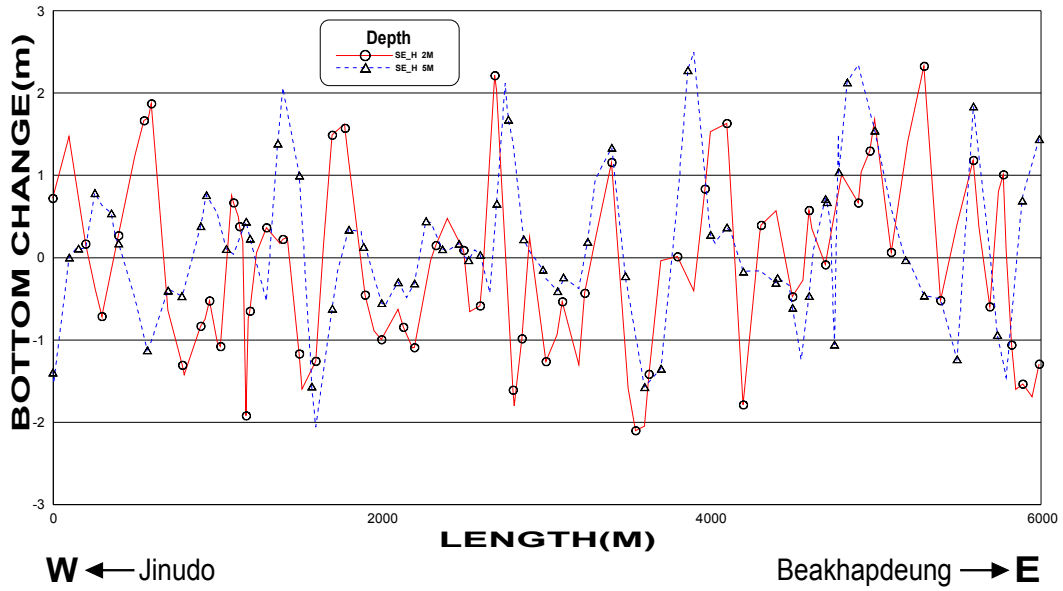


Fig. 5.42 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth
(SE, M.H.W.L.)

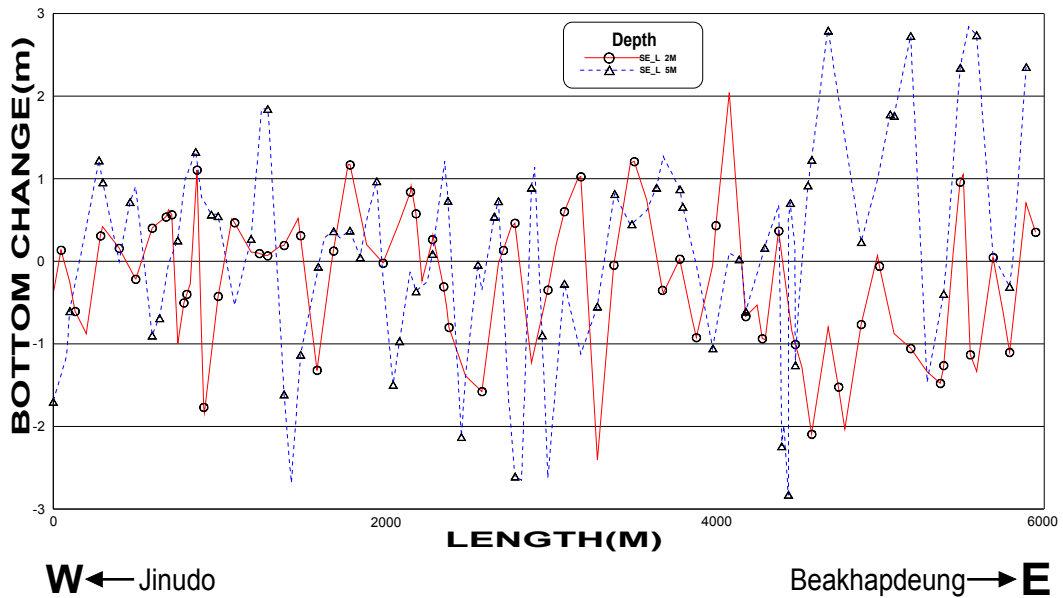


Fig. 5.43 Comparison of bottom change between 2m and 5m depth
(SE, M.L.W.L.)

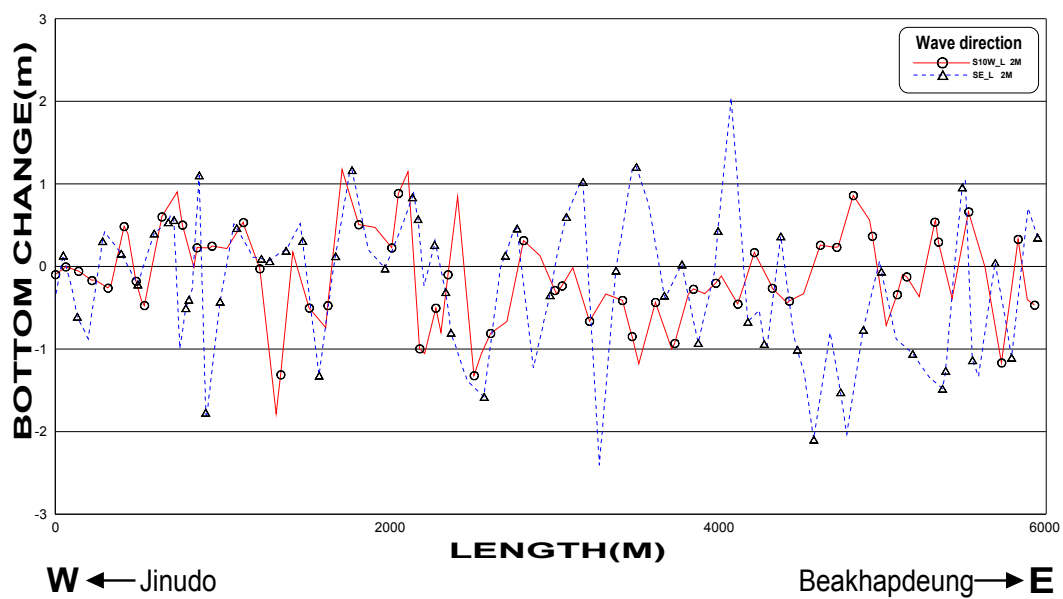


Fig. 5.46 Comparison of bottom change between S10W and SE
(2m, M.L.W.L.)

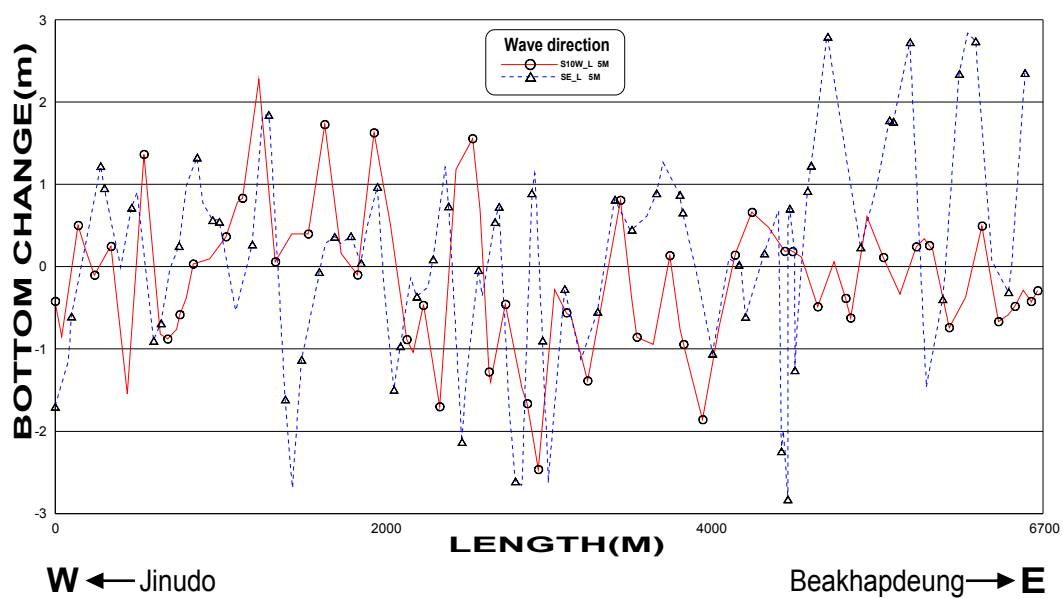


Fig. 5.47 Comparison of bottom change between S10W and SE
(5m, M.L.W.L.)

해안에서 외해로의 해저지형변화를 알아보기 위해서 전절과 동일하게 Fig. 5.48과 같이 단면을 절단하여 그 수심에 따른 지형 변화의 경향을 분석하였다. Fig. 5.49~5.51은 S10W파랑이 입사할 때의 단면 지형변화로 변화가 작았고, Fig. 5.52~5.54에서는 전자보다 상대적으로 컸으며, 퇴적의 경향이 강한 것을 알 수 있다.

특히, 진우등 하단의 지형변화와 다대포 일대의 지형변화의 폭이 크고 퇴적의 경향을 보이는데 이것은 이 해역에서의 실제 변화경향과 잘 부합된다.

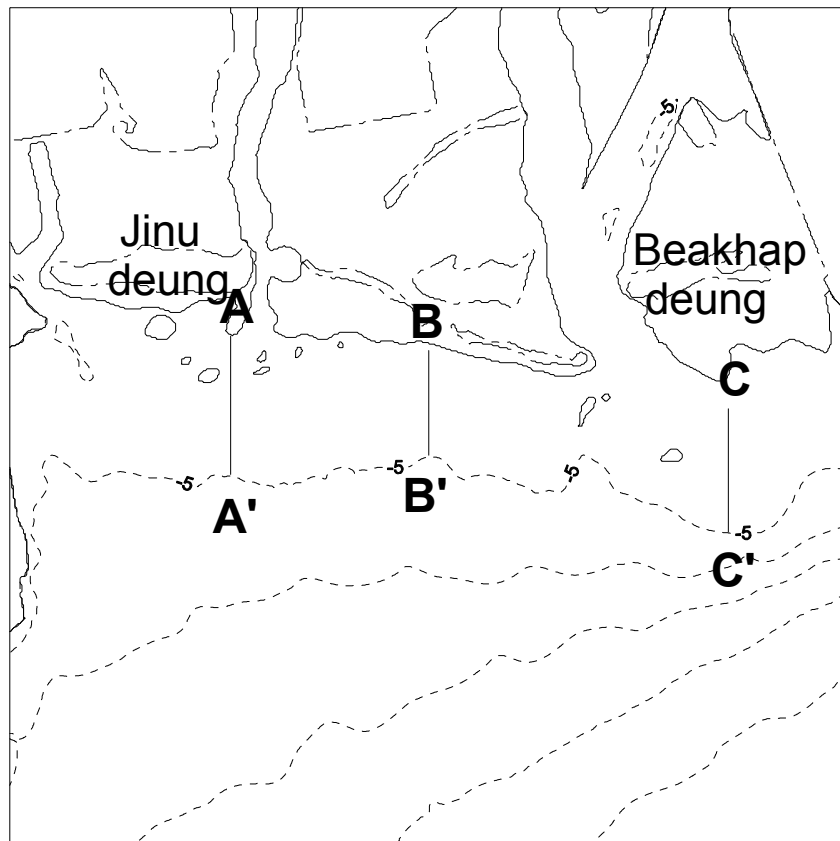


Fig. 5.48 Cross sections for the analysis of bottom change

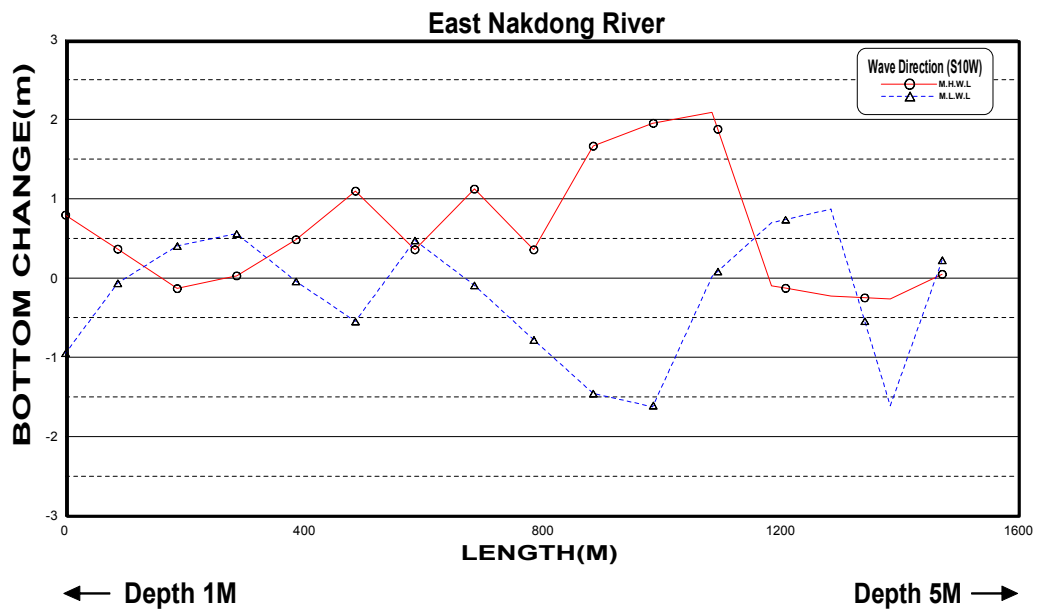


Fig. 5.51 Bottom changes at CC' cross section(S10W)

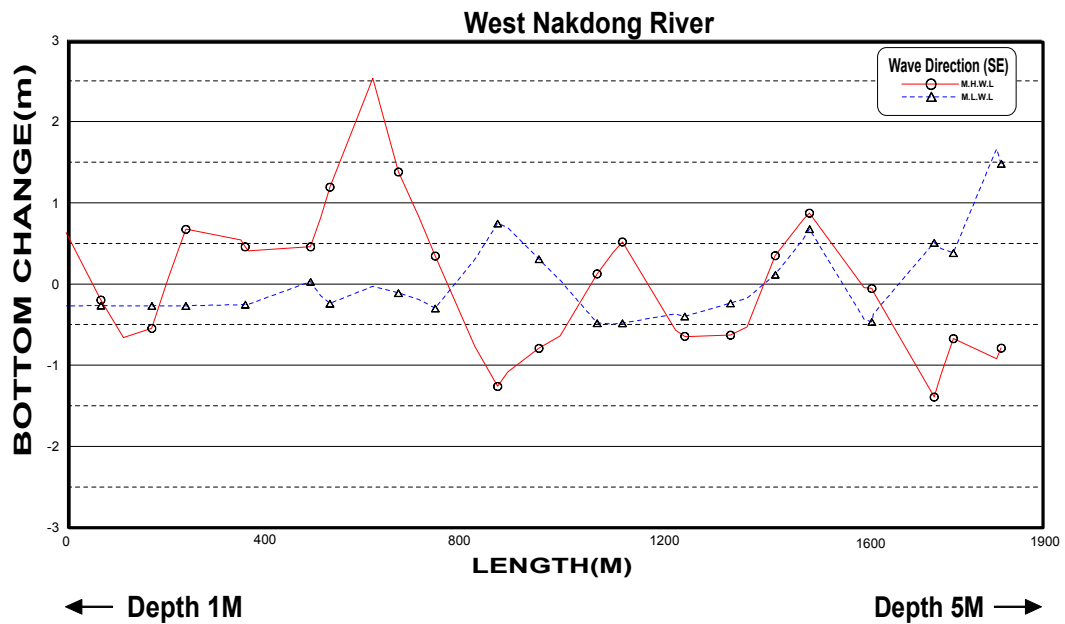


Fig. 5.52 Bottom changes at AA' cross section(SE)

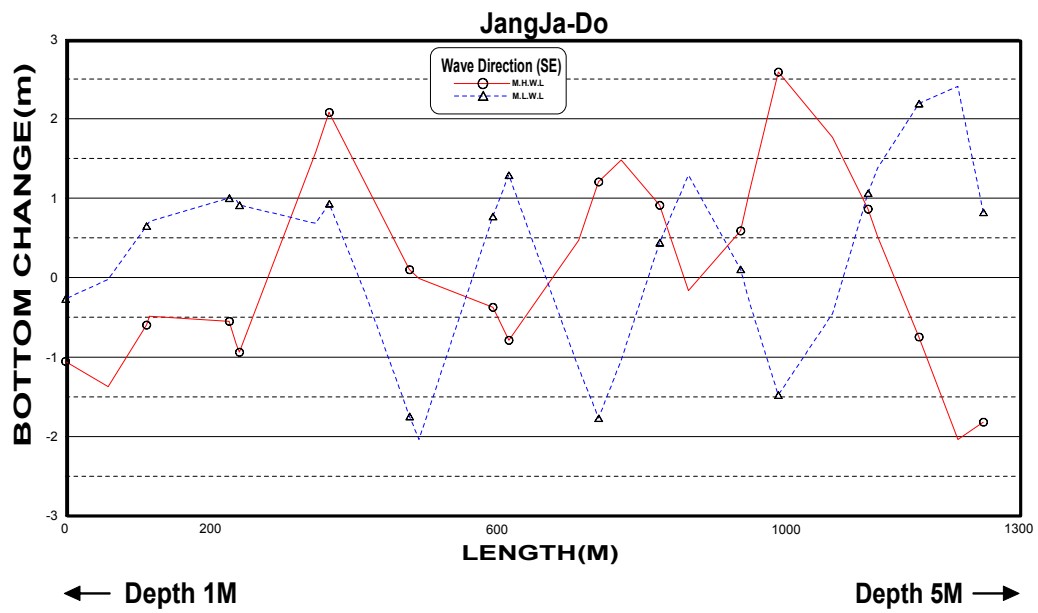


Fig. 5.53 Bottom changes at BB' cross section(SE)

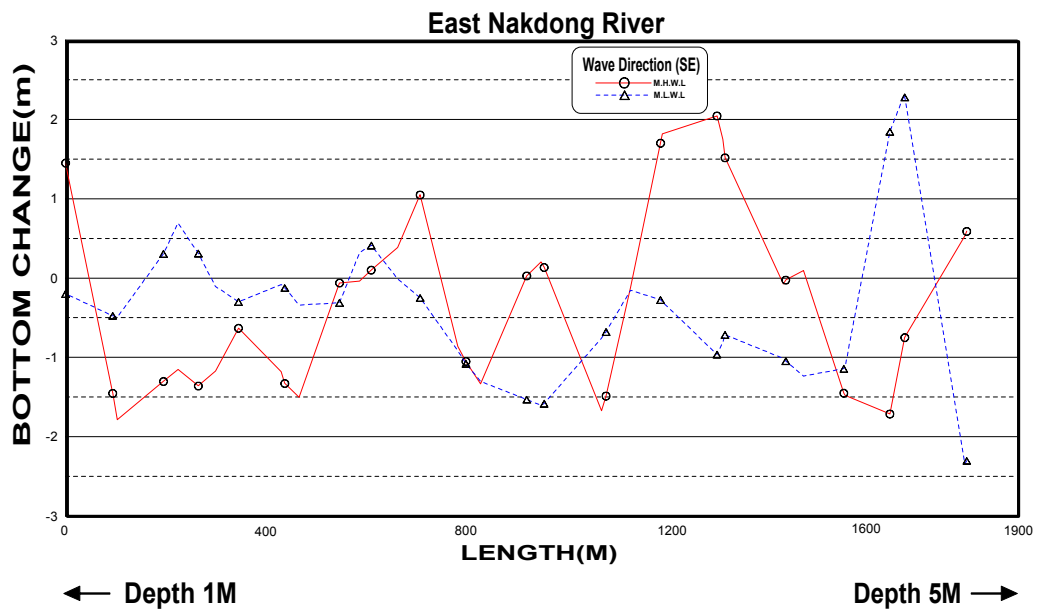


Fig. 5.54 Bottom changes at CC' cross section(SE)

5.3 조위에 따른 지형변화이동

Fig. 5.55 및 Fig. 5.56은 각 지역에서의 지형변화대의 움직임을 나타내었다. 방포항의 결과를 정리한 Fig. 5.55에서는 지형변화대가 조석의 영향으로 이동이 활발하여, 저조위에서는 해안선으로부터 멀리 떨어져 형성되는 반면에 고조위시에는 해안선 가까이 접근하여 형성되어 지형변화의 폭이 넓은 것을 알 수 있다. 이는 쇄파대의 이동에 의한 지형변화가 조석의 영향을 많이 받는다는 것을 의미한다.

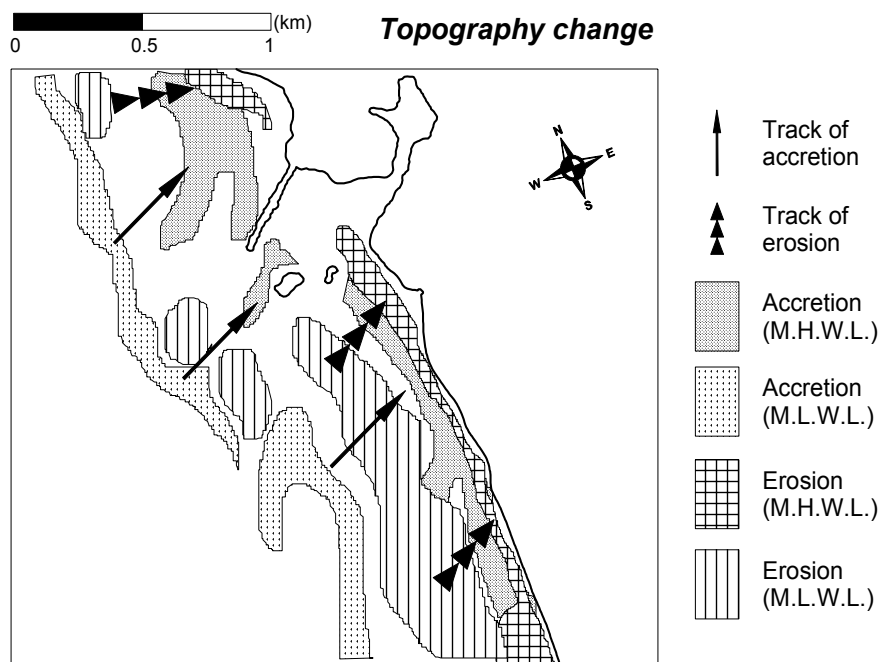


Fig. 5.55 Trend of topography change at Bangpo harbor

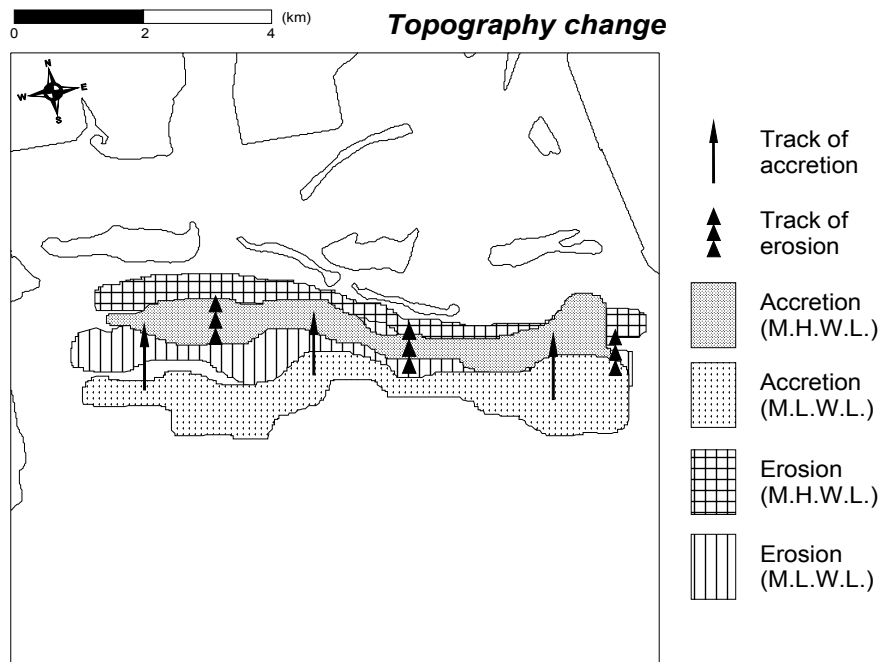


Fig. 5.56 Trend of topography change at the estuary of Nakdong River

한편, 낙동강 하구역에 적용한 Fig. 5.56에서는 지형변화대가 조석의 영향이 적어 전술한 것에 비하여 이동이 활발하지 못하고, 고·저조시의 지형변화의 폭은 상대적으로 좁은 것을 알 수 있다. 따라서, 고조위와 저조위에 따라서 침식·퇴적의 영역이 반복되어 나타남을 의미하고, 특히 낙동강하구 지역에서 장기간에 걸친 영향은 일시적이지만 하계 장마시 하천을 통한 방류수가 유입되어 복잡한 양상으로 전개될 것으로 보이며 하천유량에 의해 외해측으로 이탈되는 패턴을 예상할 수 있는데, 이는 현지 관측에 의한 자료로 파악할 수 있다.

이로써, 지형변화는 조석의 영향으로 인한 쇄파대의 이동으로 인하여 조차가 큰 해역에서는 조차가 작은 해역보다 상대적으로 지형변화의 폭이 큰 것을 알 수 있고, 이는 지형변화의 예측에 있어서 조석의 영향을 고려해야 더 정확한 예측을 할 수 있다는 것을 의미한다.

제6장 결론 및 제언

본 연구는 파랑과 흐름이 공존하는 해역에서의 해저지형 변화에 대하여 기존의 단일해면에서의 지형변화에 관한 연구와는 달리 조석의 영향으로 인한 수위의 변동에 따른 지형변화를 조석의 영향이 심한 지역과 미약한 지역으로 구분하여 유한차분법으로 수치모델을 수립하고 그 변화의 양상과 특징을 수치실험을 통하여 분석해 보았다.

모델의 적용은 조석의 영향이 심한 해역으로는 서해안의 방포항 주변을, 조석의 영향이 미약한 해역으로는 낙동강 하구역을 선정하였으며, 방포항 주변은 격자 간격을 5m, 낙동강 주변역은 20m로 구성하여 고파랑시 1년 동안의 지형변화를 예측해 보고, 조석의 영향이 지형변화에 미치는 영향을 두 경우에서 분석 및 비교해 보았다.

해안의 지형변화에서 주요 요인중의 하나는 쇄파대의 위치라고 할 수 있다. 쇄파대 형성 위치에 따라서 지형변화가 상당히 다르게 될 수 있기 때문이다. 이러한 쇄파대는 조석의 영향에 따라서 고조시에는 수심이 깊어져 해안선에 가까이 다가오게 되고, 저조시에는 외해로 나가게 된다. 따라서 해안선의 변화는 조석의 영향을 받는다고 할 수 있다.

실험의 결과, 조석의 영향이 많은 해역에서는 쇄파대가 후퇴하고 고조시에 퇴적물이 비교적 해안선 부근으로 이동하여 쇄파대의 전후 변화로 인해 지형변화의 폭이 넓은 것으로 나타났다. 이에 반해 조석의 영향이 미약한 해역은 쇄파대가 비교적 해안선에 가까운 곳에서 형성이 되어 고조시와 저조시 지형변화의 공간적인 폭이 상대적으로 협소한 것으로 나타났다. 또한 대상역 전면 에 구조물(자연, 인공)이 있을 경우는 회절의 영향으로 인한 해빈류의 영향이 비교적 작은 것을 알 수 있었다.

이는 수치 모형 실험이나 수리모델 실험을 통해 해저지형변화를 알고자 할 때 쇄파대의 위치를 정확히 파악하여 지형변화를 예측하는 것이 중요하다는 것을 가리킨다.

이상의 결과를 요약하면,

(1) 조석의 영향이 심한 지역인 방포항 주변해역은 쇄파대의 전진, 후퇴로 인한 지형변화의 공간적인 폭이 넓으며, 주변의 해수욕장의 해빈이 항내로 유입되는 경향이 나타남을 알 수 있었다.

(2) 조석의 영향이 미약한 해역인 낙동강 하구역에서는 쇄파대의 전진, 후퇴의 영향이 비교적 적어 일정해역에서 침식·퇴적의 현상이 반복되는 것과 진우등 하단과 다대포 일대에서 실제로 일어나는 지형변화 추세를 예측해 볼 수 있었다.

(3) 조석의 영향은 수심에 따라 쇄파대의 이동에 상당한 영향을 주며, 이로 인해서 지형변화의 공간적인 폭이 결정됨을 알 수 있었다. 따라서 지형변화를 예측함에 있어서 조석의 영향은 반드시 고려되어야 함을 입증하였다.

따라서 차후에는 선정된 두 해역의 해양환경적 특성을 좀더 자세히 분석하여, 비교해볼 필요가 있고, 지형 변화에 대해 수치 실험을 하기에 앞서, 지형의 특성, 변화되는 양상을 지질학적인 관점과 공학적인 관점을 동원하여 수리모형 실험을 선행하여 변화되는 양상을 분석 한 후 수치 실험을 병행하는 것이 정확한 예측에 도움이 될 것으로 본다.

아울러, 장래에는 좀더 정밀한 수치 모형을 개발함과 동시에 하구에서 하천수의 유입이 하구역의 해빈변형에 어떠한 영향을 미칠 것인가를 본 연구와 병행하여 추진할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. 김성환, 낙동강 삼각주 말단 주변의 지형변화, 석사학위논문, 서울대학교, 2000.
2. 류승우, 낙동강 하구역의 퇴적특성에 관한 연구, 석사학위논문, 부경대학교, 2001.
3. 명지주거단지 조성 사업 사후환경조사, 부산직할시, 1994.
4. 박상길, 최병섭, 대하천 하구의 해빈류와 하구지형변이 특성에 관한 연구, 대한토목학회논문집, Vol. 17, No2-1, pp77~88, 1997.
5. 박상길, 최병섭, 낙동강 하구에서의 천해과 변이에 관한 연구, 대한토목학회논문집, Vol. 16, No. 2-4, pp379~388, 1996.
6. 박정철, 흐름이 고려된 불규칙 파랑모델에 관한 연구, 공학박사학위논문, 동아대학교, 1999.
7. 반응부, 낙동강 하구 해안사주 지형의 변화, 신라대학교 논문집, 제40권, pp.155 ~ 195, 1995.
8. 방포항 기본계획 변경 환경영향평가서, 충청남도, 2001.
9. 신승호, 이중우, 조석이 큰 해역에서의 해안과정과 항만퇴적의 변화, 한국항만학회, 한국항만학회집, 제15권 1호, 2001.
10. 유홍선 등, 낙동강하구에서의 하천수 플룸의 횡방향퍼짐과 부유퇴적물의 운송, 해안해양공학회지, Vol. 5. No. 4, pp.296~301, 1993.
11. 이상진, 해안역 개발에 따른 해안과정의 변화, 석사학위논문, 한국해양대학교, 1999.
12. 이상화 등, 낙동강 하구 사주(모래톱)의 지형조사와 해저토 이동 방향에 관한 연구, 대한토목학회논문집, Vol. 17, No. 2-6, pp553~558, 1997.

13. 이정만, 천해역에서의 해빈류 예측, 공학박사학위논문, 동아대학교, 1998.
14. 정성교 등, 낙동강 삼각주 점토에 대한 과압밀비의 평가, 대한지반공학회지, Vol. 15, No. 4, pp85~97, 1999.
15. 최철웅, 위성사진제공, 부경대학교, 2002.
16. 하정수, 낙동강 하구와 주변 연안역 퇴적물의 특성 및 퇴적환경, 석사학위논문, 부경대학교, 2000.
17. 堀川清司, 海岸環境工學, 東京大學出版會, pp217~284, 1985.
18. 合田良實, 淺海域における波浪の碎波變形, 港灣技術研究所報告 第14號, pp.59~196, 1975.
19. 西村仁嗣, 岩石海岸における海浜流の数値モデル, 堀川清司編, 海岸環境工學センター報告 No.13, pp.140~147, 1981.
20. 西村仁嗣, 海浜循環流の数値シミュレーション, 第29回 海岸工學講演會論文集, pp.333~337, 1982.
21. 申承鎬, 沖合構造物背後の海浜變形機構とそのモデル化に関する研究, 博士學位論文, 2000.
22. 渡辺晃, 振動流境界層と海浜過程, 第15回水工學に関する夏期研修會講義集, B海岸・港灣コース, 土木學會, pp.B-3-1~B-3-13, 1979
23. 渡辺晃, 丸山康樹, 清水陸夫 等, 構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値豫測モデル, 第31回 海岸工學講演會論文集, pp.406~410, 1984.
24. 渡辺晃, 丸山康樹, 屈折・回折・碎波減衰を含む波浪場の数値解析法, 第31回 海岸工學講演會論文集, pp.103~107, 1984.
25. Berkhoff, J.C.W., Booij, N. and Radder, A.C., "Verification of numerical wave propagation models for simple harmonic linear water waves", Coastal Eng., Vol. 6, pp.255~279, 1982.

26. Ebersole, B.A. and Dalrymple, R.A., "Numerical modeling of nearshore circulation", Proc. 17th Coastal Eng. conf., ASCE, pp.2710~2725, 1980.
27. James, I.D., "A nonlinear theory of longshore currents", Estuarine and Coastal Marine Science, Vol. 2, pp.235~249, 1974.
28. Kirby, J.T., "Rational Approximations in the parabolic equation method for water waves", Coastal Eng., Amsterdam, Netherlands, Vol. 10, pp.355~378, 1986.
29. Longuet-Higgins, M.S. and Stewart, R.W., "Radiation stresses in water waves; a physical discussion, with application", Deep-Sea Res., Vol. 11, No. 4, pp.529~562, 1964.
30. Longuet-Higgins, M.S., "Longshore currents generated by obliquely incident sea waves", J. of Geophysical Res., Vol. 75, No. 33, pp.6970~6801, 1970.
31. Mei, C.C., "A note on the average momentum balance in two-dimensional water waves", J. of Mar. Res., Vol. 31, No. 2, pp.97~104, 1973.
32. Nishimura, H., "Numerical simulation of the nearshore circulation", Proc. 29th Conf. Coastal Eng., JSCE, Vol. 28, 1985.
33. Nishimura, H., Maruyama, K, and Sakurai, T., "On the numerical computation of nearshore currents", Coastal Eng. in Japan, Vol. 28, pp.137~145, 1985.
34. Sonu, C.J., "Field observation of nearshore circulation and meandering currents", J. of Geophysical Res., Vol. 77, No. 18, pp.3232~3247, 1972.
35. Watanabe, A. and Maruyama, K., "Numerical Modeling of Nearshore Wave Field under Combined Refraction and Diffraction and Breaking", Coastal Eng. in Japan, Vol. 29, pp.19~39, 1986.
36. Watanabe, A. and Shiozaki, M., "On the waves and nearshore currents around a structure", Proc. 29th Japanese Conf. on Coastal Eng., JSCE, pp.110~114, 1982.

감사의 글

부족한 본인이 나름대로 공부를 할 수 있도록 여건을 마련해 주시고, 이 작은 결과물을 만들어 내기까지 많은 질책과 가르침을 주셨으며 학문외적인 부분에서도 길을 인도해 주신 지도교수 이종우 선생님의 은혜를 잊지 않겠습니다. 더욱이 부족한 제자를 어떻게든 일본에서 공부시키시려는 노력에도 불구하고...부족한 제자, 고개를 들 수가 없습니다. 다시 한번 수고 많으셨습니다.

먼 타국임에도 불구하고 진심 어린 충고와 자료를 보내 주시고 본인이 느끼지 못한 많은 부분을 지적해 주시며, 선배가 아닌 동료로써 연구하자 말씀하시던 일본 PARI에 계신 신승호 박사님께도 고개를 숙여 감사를 드립니다.

항상 웃으시면서 앞으로 나아갈 길을 보여주신 국승기 교수님과 강신영 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

논문의 자료를 수집할 때 위성사진을 주신 부경대학교 최철웅 교수님과 가지고 계신 논문과 사진을 기꺼이 다 내어 주시고 자세한 내용까지 알려 주신 신라대학교 반응부 교수님께도 진심으로 감사의 말씀을 올립니다.

늘 지켜 봐 주시고 힘을 주시며, 공부를 더하도록 조언을 해주신 목포의 정대득 교수님, 지연 누나, 한필이형, 동진형께도 감사의 뜻을 표합니다.

멋진 카리스마를 보여 주시는 양상용 소장님과, 늘 공부하는 모습을 보여 주시는 염원기 선배님, 늘 웃는 모습으로 대해 주시는 강민형, 도경형, 호씨. 모두 감사 드립니다.

특히, 논문이 나오기까지 옆에서 불평 하나 없이 번거로운 작업을 해 준 우철이, 학생이에게 정말로 고맙다는 말을 하고 싶습니다. 연구실에서 늘 같이 공부하는 지훈씨, 호동이, 태환이에게도 고마움을 전합니다.

12년 같은 학교에서 공부를 하고 결국 대학원까지 18년 같은 공부하는 성이, 스트레스를 풀어주고 힘들 때 늘 옆에서 불평을 묵묵히 들어준 홍준, 늘 웃는 얼굴로 힘을 주고 고생한다며 밥 한술 더 주던 형민, 늘 바쁘데도 신경 쓰는 광욱, 수정이도 모두 15여년의 긴 우정에 고맙다는 말을 하고 싶습니다.

특히, 내가 기쁠 때 같이 웃어 주고, 슬플 때 눈물을 흘려주고 늘 함께 할 사랑하는 혜진이, 큰형 내외, 매형과 누나, 작은형, 조카의 얼굴에서 힘을 얻었습니다.

길러 주시고 입혀 주시며, 늘 걱정하시는 부모님을 생각하면 눈물이 납니다.

머리 조아려 감사를 드리고 그 은혜 꼭 보답코자 노력 다할 것을 다짐하며 이 작은 산물을 양친의 양수에 올려 드립니다.